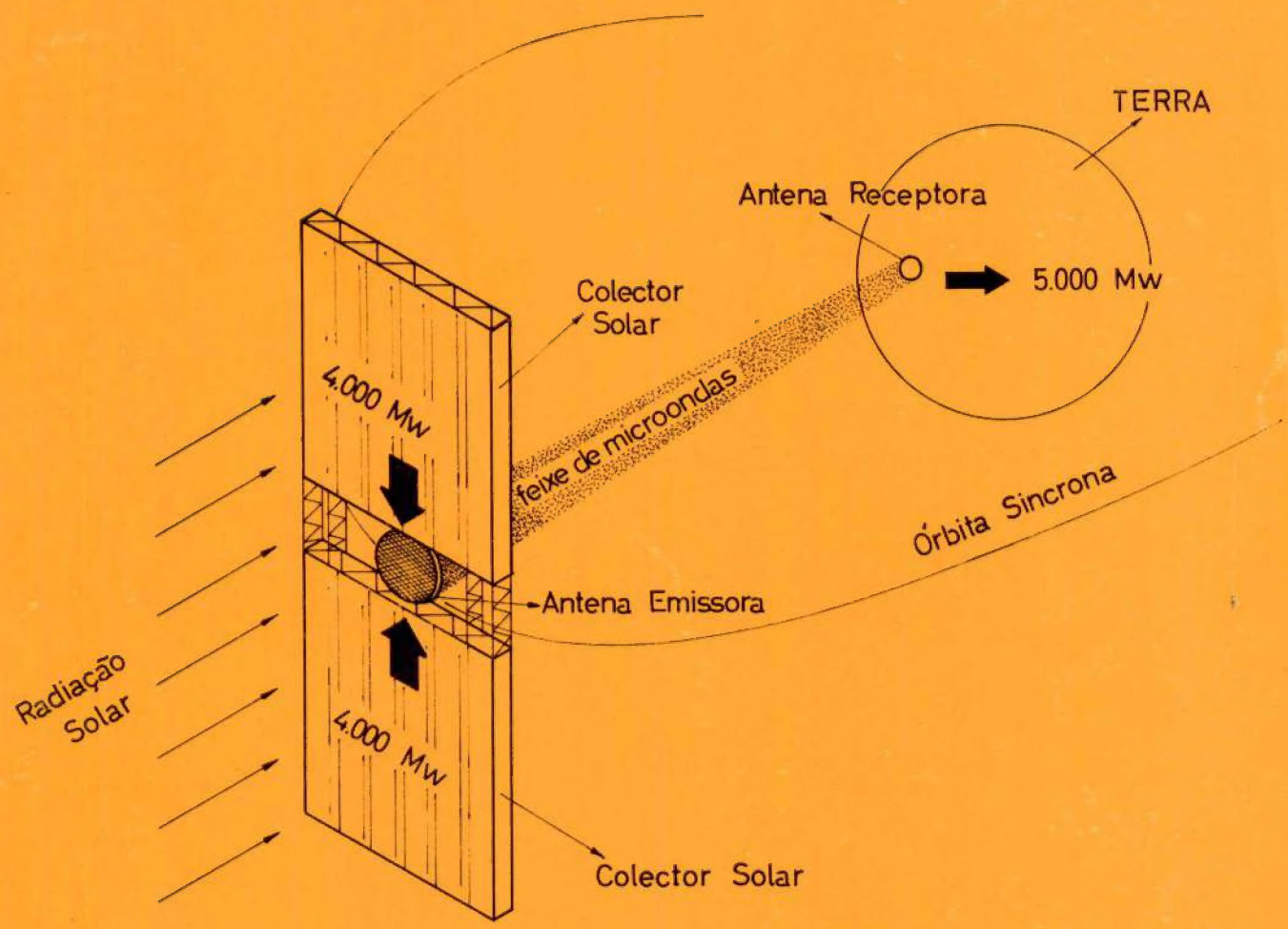
técnica



461 associação dos estudantes do instituto superior técnico
novembro 1980 revista de engenharia

a moldura nacional, lda.

IMPORT. EXPORT. — VIDRO CRISTAL

VIDROS E CRISTAIS — MOLDURAS

VIDRO EM CHAPA — TRABALHOS EM VIDRO

VIDRO SEGURANÇA — ESPELHOS

LARGO DO CONDE BARÃO, N.º 44

TELEF. 66 43 12 1200 LISBOA

OU

CALÇADA MARQUÊS DE ABRANTES, 10, 1.º-Esq.º

1200 LISBOA

TELEX 18489 UGLL P.

PÓRTICOS DE GRANDE VÃO

Pórticos até 22,00 m de vão e pilares até 9,00 m de altura, afastados de 12,00 m no interior e de 6,00 m no perímetro exterior. As fundações são mínimas devido ao baixo peso da estrutura (≃ 60 kg/m2). São possíveis adaptações para pontes rolantes.

materiais novobra

A mais vasta gama em pré-fabricados de betão

Pré-fabricação total ou parcial · Pavimentos · Coberturas · Asnas · Perfis especiais
Post-Esforço «Losinger» · Pontões · Vigas de grande vão · Pórticos «Crendon»
Pórticos «Guiraudie & Auffeve» · Pavimento «Trief» · Protecção de segurança «Trief»
Mosaicos · Garagens · Tubos · Blocos de Leca · Espaçadores de Betão
Estacas para Vinhas e Pomares · Travessas para Caminhos de Ferro

Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagoa, Guarda e Moita.

Sede: Av. Est. Unidos da América, 100-5.º Dt.º — Lisboa-5
Telefones — Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53 • Telex: 18373 NOVOBA P
Serviços Técnicos: 89 41 16/7/8 - 89 93 31/2

CONSTRUA COM CONFIANÇA - CONSULTE-NOS

Iluminação pública e industrial.

SCHRÉDER, S.A.R.L.

Carnaxide-Tel.2180037

técnica

TÉCNICA 461 NOVEMBRO 1980 ANO LV VOLUME XLII PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR
José Luís S. V. Azevedo

COLABORADORES
João José Águas
Jorge Filipe Monteiro

FUNCIONÁRIOS
Jorge Graça
Fernanda Sanches

DIRECÇÃO, REDACÇÃO
E ADMINISTRAÇÃO
Av. Rovisco Pais, I.S.T.—1000 Lisboa
Telefone 88 93 23

PROPRIETÁRIO
A. E. I. S. T.

•

ASSINATURAS:	10 n.os
Continente e Ilhas	450$00
Países de língua Portuguesa e Espanha	550$00
Estrangeiro	700$00 (US$15)
Número avulso ...	80$00

Encontram-se à venda na Secção Técnica, A. E. I. S. T., praticamente todos os números publicados até à data. Os preços são:

1 a 430 (inclusive) — 10$00 ex.
431 a 437 (») — 35$00 ex.
438 a 450 (») — 60$00 ex.
451 e seguintes — 80$00 ex.

* Excepto números duplos ou especiais.

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

Tiragem: 5000 ex.

•

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO:
OF. GRÁFICAS DE RÁDIO RENASCENÇA
Rua Duques Bragança, 6 — 1200 LISBOA

SUMÁRIO

55 — Política editorial e normas de publicação.

57 — A matemática na formação de cientistas e engenheiros — F. R. DIAS AGUDO.
Mathematics for scientists and engineers.

61 — Les encroûtements calcaires et la construction de chaussèes en Afrique du Nord (deuxième partie) — JOSÉ CARLOS DE O. S. HORTA.
As crostas calcárias e a construção de pavimentos de estradas na África do Norte (segunda parte).

73 — La teledistribution par cable — J. A. SCHWARZ DA SILVA.
Teledistribuição por cabo.

81 — A conversão directa de energia solar em energia eléctrica. Células solares — LEOPOLDO J. M. GUIMARÃES.
Solar cells. Direct conversion of solar energy.

85 — Clusius e Dickel — Um método de separação menos convencional — M. FÁTIMA MORGADO e JOÃO DE DEUS S. PINHEIRO.
Clusius and Dickel — A new separation method.

89 — Métodos rígido-plásticos de análise de estruturas actuadas por solicitações dinâmicas intensas — CARLOS GUEDES SOARES.
Rigid-plastic methods for the analysis of structures subjected to very strong dynamics excitation.

97 — A lei de Hooke relativista — ANTÓNIO BROTAS e J. CARLOS FERNANDES
Relativistic Hooke's law.

101 — Formação de quadros e cursos de mestrado no I. S. T. — L. VALADARES TAVARES.
The master degree at Instituto Superior Técnico.
NOTAS CIENTÍFICAS.

107 — Doppler effect as a resultant of the contaction of space and the dilation of time — M. ABREU FARO.
O efeito Doppler como resultante da contracção do espaço e dilatação do tempo.

111 — Limitations on Doppler effect in an isotropic collisionless plasma—M. ABREU FARO e M. JOÃO MARQUES MARTINS
Limitação do efeito Doppler num plasma isotrópico sem colisões.

84 — NOTICIÁRIO.

CAPA — Agradecemos ao Professor Leopoldo Guimarães a cedência da figura da nossa capa.

CONSELHO CIENTÍFICO

Alves, Luis de Almeida
Barros, Luis A. Aires
Calado, Jorge C. G.
Conte, J. C.
Costa, Fernando Vasco
Dias, A. Romão
Domingos, J. J. Delgado
Faro, Manuel José de Abreu
Ferreira, J. Campos
Figanier, J. P.
Garrido, M. S.
Horta, Ricardo Bayão
Loureiro, A. Pádua
Manzanares, Alberto Abecasis
Moura, Domingos
Moura, J. M. Fonseca de
Moutinho, A. M. C.
Oliveira, E. R. de Arantes e
Portela, A. Gouvêa
Quintela, António de Carvalho
Rogado, José Quintino
Santos, A. F. Ferreira dos
Serafim, J. Laginha
Simões, F. Rebelo
Silva, J. Borges da
Tavares, L. Valadares
Trindade, Rocha

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A Moldura Nacional, Lda.	2.ª da capa
Aguiar & Melo, Lda.	V
Anjos Pereira & C.ª, Lda.	VI
Companhia IBM Portuguesa, S A R L	XII
Construções Schréder	2.ª da capa
Construções Técnicas	XVI
DIMECRO — Representações Comerciais e Técnicas, Lda....	VIII
EFACEC — Empresa Fabril de Máquinas Elécricas, SARL	XIII
Electricidade de Portugal EDP/Empresa Pública ...	XI
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	XV
FAG Portuguesa, Lda.	IX e X
FÉRIA-SERIC, Lda.	IV
Hidrotécnica Portuguesa, Lda.	IV
MART — Máquinas de Remoção de Terras, Lda.	II
MINNESOTA (3M) DE PORTUGAL, Lda.	VII
Novobra, Lda.	2.ª da capa
NUCLEON — Equipamentos de Precisão, Lda. ...	VIII
Soc. Electricidade Brown Boveri	XIV
Soc. Portuguesa Cavan	IV
Sopecate	IV
SORUBAL, SARL	4.ª da capa
S. K. F., Lda.	III

Política editorial e normas de publicação

«Técnica» é a revista da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, pubicando-se mensalmente (à excepção de Agosto e Setembro), em números com uma dimensão «standard» de 64 páginas. Os números publicados durante um ano lectivo constituem um volume.

A «Técnica» publica trabalhos nos seguintes domínios: Engenharia Civil, Mecânica, Electrotécnica, Metalúrgica, Minas, Química, Ciências Matemáticas, Teoria dos Sistemas, Física, Química, Geociências, Ensino.

Fora destes domínios poderão ainda ser publicados trabalhos desde que sejam considerados relevantes pela direcção da revista.

Os originais podem ser redigidos em português, francês ou inglês.

No âmbito da «Técnica» funcionam geralmente quatro secções: notas científicas (scientific notes), artigos que se publicam a convite do editor (invited papers); artigos de fundo (contributed papers) cujas características de conteúdo ou extensão os não permitam englobar nas notas científicas; noticiário (news).

Chama-se a atenção dos Autores para o facto da «Técnica» neste momento apenas aceitar para publicação NOTAS CIENTÍFICAS e artigos por convite até indicação em contrário.

As **notas científicas** destinam-se à pubicação de resultados inéditos de investigação teórica ou experimental e têm prioridade de publicação. Os trabalhos enviados expressamente para esta secção deverão respeitar as normas específicas de publicação que adiante se indicam. A submissão de qualquer trabalho para publicação nesta secção deverá ser acompanhada duma garantia do(s) Autor(es) em como nenhum trabalho contendo substancialmente a mesma informação tenha sido previamente publicado por ele(s) ou por outros, que este não está a ser submetido à consideração editorial ou em vias de publicação em qualquer outra publicação periódica, e não será submetido à apreciação enquanto decorrer o seu processo na «Técnica».

Os **artigos publicados por convite** (invited papers) terão um limite de 20 páginas dactilografadas (segundo as normas de publicação) podendo, em casos excepcionais, ser esse espaço alargado por acordo da direcção da «Técnica».

O(s) Autor(es) de artigos por convite deverão fazer acompanhar os seus trabalhos duma garantia em como estes não foram previamente publicados, que não estão a ser submetidos à consideração editorial ou em vias de publicação noutra parte, e que não serão submetidos a apreciação enquanto decorrer o seu processo na «Técnica».

A «Técnica» notificará o(s) Autor(es) ou devolverá os originais submetidos a apreciação num prazo máximo de 45 dias após a recepção do original.

A «Técnica» dispõe dum Conselho Científico a cujos membros recorrerá sempre que entenda aconselhável, no sentido de apurar a qualidade, originalidade e interesse científico dos trabalhos (como é usual o(s) Autor(es) desconhecerão os revisores e vice-versa). Os membros do Conselho Científico poderão recorrer a pessoas da sua confiança sempre que o julguem aconselhável para a formulação do seu parecer. À direcção da «Técnica» caberá sempre a decisão final da aceitação ou recusa dos originais que lhe sejam enviados.

Os trabalhos publicados serão registados com a data de recepção do original na «Técnica».

Todos os trabalhos publicados serão abertos à discussão num prazo limite expressamente indicado no final de cada trabalho. Ao(s) Autor(es) é dada a possibilidade de uma resposta. Tanto os comentários como as respostas não poderão exceder duas páginas dactilografadas (A-4, dois espaços).

A «Técnica» oferecerá 15 (quinze) separatas de cada trabalho publicado, independentemente do número de Autores.

Consideram-se fundamentais as seguintes normas de publicação:

1 — Os trabalhos deverão ser *inteiramente* dactilografados em papel A-4 a dois espaços.

2 — Os originais deverão ser acompanhados de resumo e abstract, qualquer deles não excedendo 80 palavras.

3 — Todas as figuras deverão ser *rigorosamente* desenhadas sobre papel vegetal a tinta da china preta, com letras, algarismos ou outros símbolos decalcados ou rigorosamente desenhados.

4 — Os originais deverão ser acompanhados, em folha há parte, do título em português e inglês, especialidade em que se enquadra e excedente de separatas (debitadas ao autor) desejadas.

5 — De cada original devem ser enviadas três cópias à «Técnica».

6 — Os originais destinados à secção Notas Científicas deverão conter essa indicação expressa. As Notas Científicas não poderão exceder seis páginas dactilografadas (A-4 a dois espaços) mais uma página para título resumo e abstract. O resumo e abstract deverão ser extremamente sucintos não ultrapassando as 50 palavras qualquer deles.

O editor reserva o direito de dar aos textos, figuras e expressões a forma que melhor entenda sem alterar o sentido dos trabalhos.

São **absolutamente inadmissíveis** alterações aos originais desde que estes se encontrem compostos tipograficamente. Aos autores que não acatem esta disposição serão debitadas todas as despesas que resultem das alterações introduzidas e os trabalhos em causa serão retirados da programação prevista.

Publicidade com critério.

Anuncie na

técnica REVISTA DE ENGENHARIA

técnica

REVISTA DE ENGENHARIA

associação dos estudantes do instituto superior técnico

Av. Rovisco Pais — 1000 Lisboa — Portugal — Telefone 88 93 23 — Telegramas AEIST

TABELA DE PREÇOS DE ANÚNCIOS

ADVERTISEMENT RATES

	1 página page	1/2 página page	1/4 página page
2.ª ou 3.ª capas 2nd & 3rd cover	8000$00	6400$00	4000$00
4.ª capa 4th cover	9600$00	—	—
Última página antes do texto Last page before text	6400$00	—	—
Páginas intercaladas no texto Pages in text	5600$00	4000$00	3200$00
Qualquer outra página Any other page	4800$00	3200$00	2400$00

Publicidade redigida — Agravamento de 100 %
Editorial advertising — 100 % more

Encartes — Por cada folha tamanho A4 será cobrado o preço de 1 página.
Inserts — For each sheet A4 (297 × 210 mm) the price of one page.

Descontos: 5 números 20 %
Dicounts: 10 insertions 40 %

Anúncios a cores: **mais**
Colour advertisements: plus 1500$00

por cada cor
per colour

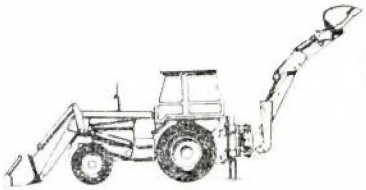
Os anúncios são pagos depois da publicação.
Advertisement are paid after publication.

1. **Tiragem:**
   Circulation: 5000
2. **Línguas utilizadas na revista: Português, Inglês e Francês**
   Languages used in our journal: Portuguese, English and French
3. **Tipo de leitores: Engenheiros e estudantes de engenharia**
   Type of readershipe: Engineers and engineering students
4. **Periodicidade: Mensal (excepto Agosto e Setembro)**
   Frequency: Monthly (except August and September)
5. **Tipo de impressão: Tipografia. Anúncios em offset**
   Screen: 120. Printing process: Typography. Advertisements in offset
6. **Mancha:**
   Type area: 16,5×25 cm
7. **N.º de colunas:**
   No. of columns: 2
   Altura da coluna:
   Column depth: 25 cm
   Largura da coluna:
   Column width: 8 cm
8. **Material de impressão usado: Qualquer**
   Press maetrial required: Any
9. **Número corrente de páginas:**
   Usual number of pages: 60
10. **Cores possíveis: Quaisquer**
    Colours available: Any
11. **Comissão de agência:**
    Agent comission: 20 %

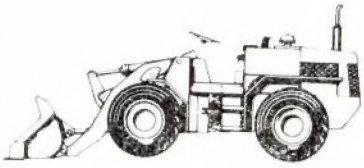
ESCAVAR É A NOSSA ESPECIALIDADE

BENFRA

CARREGADORA-
-ESCAVADORA



ESCAVO-CARREGADORA
DE RODAS



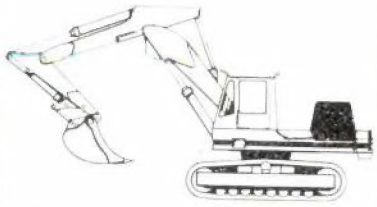
REPRESENTANTE EXCLUSIVO:

MART

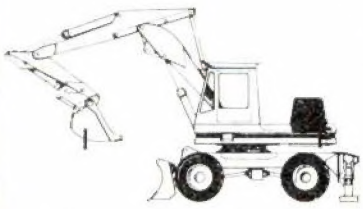
AZINHAGA DOS LAMEIROS (AO PAÇO DO LUMIAR) 1600 LISBOA – TEL.794095/8

MÁQUINAS DE REMOÇÃO DE TERRAS, LDA.

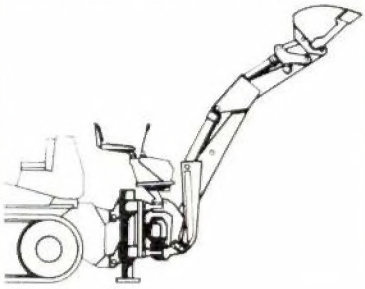
ESCAVADORA DE
RASTOS



ESCAVADORA DE RODAS



RETRO-ESCAVADORA



UNISLIP®

RECTIFICADORAS PARA VÁLVULAS

UMA REVOLUÇÃO NA MANUTENÇÃO DE VÁLVULAS DE CUNHA, DE GLOBO E PARALELAS

AS ÚNICAS RECTIFICADORAS REALMENTE PORTÁTEIS QUE PERMITEM RECTIFICAR:

– A SEDE DA VÁLVULA SEM A RETIRAR DA INSTALAÇÃO;

– A CUNHA DA VÁLVULA JUNTO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DESTA;

– A ELEVADAS VELOCIDADES COM O AUXÍLIO DE MOTORES DE AR COMPRIMIDO.

SE ESTÁ INTERESSADO PEÇA UMA DEMONSTRAÇÃO À:

SOCIEDADE SKF LIMITADA

1200 LISBOA – PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 362301 – TELEGR.: ESKAEF – TELEX: 12156

4100 PORTO – RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 692054 – TELEGR.: ESKAEF

Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

EXPORTAMOS
SERVIÇOS
E TÉCNICA
PARA

· ANGOLA
· ARGÉLIA
· BRASIL
· LÍBIA
· MARROCOS
· MOÇAMBIQUE

HP
HIDROTÉCNICA PORTUGUESA
EDIFÍCIO HP · RUA DA GUINÉ · SACAVÉM / APARTADO 5058 · 1702 LISBOA CODEX

Ventilação
de Edifícios
Ventilação Térmica
FÉRIA
(tipo shunt)

Com aprovação do
Laboratório Nacional
de Engenharia Civil
Câmara Municipal de Lisboa
Batalhão de Sapadores
Bombeiros
Direcção-Geral de Saúde

Exija o documento
de viabilidade de
utilização do L.N.E.C.

Consulte o Art.º 87 § 2
e Art.º 110 §§ 2 e 3
do R.G.E.U.

FÉRIA SERIC
Rua S. Sebastião da
Pedreira, 108, 1.º
Tels. 54 93 81 - 57 69 77
Consulte o nosso
Gabinete Técnico

ESPECIALISTA
DESDE
1947

sopecate

ESTUDOS GEOTÉCNICOS
FUNDAÇÕES ESPECIAIS
ANCORAGENS
CONSOLIDAÇÕES
INJECÇÕES
REFORÇO DE FUNDAÇÕES

RUA DO ARSENAL, 146-2º
TELFS. 320208-360437-364010
1100 LISBOA

AGUIAR & MELLO, L^DA

apresenta

FUNDIDO LAFARGE	• Cimento aluminoso de endurecimento rápido e altas resistências iniciais. • ao fim de 4 horas pode-se retirar as cofragens sem função de apoio. • ao fim de 18 horas pode-se retirar todas as cofragens e apoios. • ao fim de 24 horas a obra pode ser submetida às cargas definitivas. • De resistência térmica até 1400°C
SECAR 51	• De resistência térmica até 1550°C
SECAR 71	• De resistência térmica até 1800°C
SECAR 80	• De resistência térmica até 2000°C
CIMENTO DE PRESA RÁPIDA	• Presa aos 14 minutos
VERMICULITE	• Agregado isolante até 1000°C
CLAYLITE	• Agregado isolante até 1300°C
Chamotte SOGDAR	• Agregado refractário até 1500°C
CORINDON	• Agregado refractário até 1900°C
CLAVEX	• Argamassa pronta, para selagens e assentamento de peças pré-fabricadas.

Os nossos serviços técnicos, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos produtos acima aos problemas que se apresentem.

Aguiar & Mello, Lda.

Praça do Município, 13-1° Tel. 32 11 51/2

1100 LISBOA

AÇOS USS DE ALTA RESISTÊNCIA

Maior duração em condições adversas? O aço USS COR-TEN(') é a melhor solução por ser 4 a 6 vezes mais resistente à corrosão atmosférica do que o aço ao carbono, além de significar economia, pela maior tonelagem de aço necessário em cada aplicação.

A UNITED STATES STEEL INTERNATIONAL, INC.

Pittsburgh, PA., E.U.A.

Produz nas suas diversas fábricas, espalhadas por todo o território dos E.U.A., (e também algumas fora dos E.U.A. toda a gama de aços, cobrindo todas as necessidades possíveis de qualquer mercado:

Ligas de aço de construção (T - I') aços de alta resistência (COR-TEN', TRI-TEN', MAN-TEN', PAR-TEN', EX-TEN'), aços resistentes à abrasão, aços inoxidáveis (TENELON', MULTIGRIP'), aços laminados e forjados (billets, bloooms, slabs, estacas-prancha, barras comerciais e perfis), chapas laminadas a quente e a frio, em formatos e em bobines, com ou sem revestimento, folha de flandres electrolítica (FERROSTAN'), de redução simples e dupla, cobertura igual ou diferencial), "blackplate", "tin-free-steel", tubos com ou sem costura, fio-máquina e arames, estruturas para pontes (ex: Ponte sobre o TEJO) e edifícios, etc..

(') Marcas registadas da U.S. Steel

U S S — a maior gama — a melhor qualidade

Distribuidores gerais para Portugal:

ANJOS PEREIRA & Cª., Lda.
Rua D. Pedro V, Nº. 2, 3º.
1200 LISBOA CODEX
Telefones: 68 41 41 — 65 97 28
Telex: ..... 18309 STAG P

Scotchcast®...

... em instalações eléctricas

O processo 3M de ligação de cabos permite realizar junções, derivações e extremidades, até 10 Kv, independentemente do isolante, da natureza e das dimensões do cabo.

Cada conjunto SCOTCHCAST é composto pela totalidade de material necessário bem como de instruções detalhadas para a utilização do produto. A ligação de cabos, de secções superiores às possibilidades dos moldes plásticos, efectua-se por injecção em vez de enchimento por gravidade.

RESINA EPÓXIDA SCOTCHCAST N.º 4

Esta resina epóxida de cor negra é constituida por duas partes iguais, pré-doseadas (resina e endurecedor).

O processo de mistura é muito fácil, graças ao sistema de embalagem «UNIPAK».

As ligações assim efectuadas são completamente estanques, possuem grande resistência dieléctrica, química e mecânica, endurecendo à temperatura ambiente sem necessidade de calor.

A resina Scotchcast N.º 4 fica rígida poucos minutos depois de aplicada e o cabo pronto a ser utilizado.

A REBELO

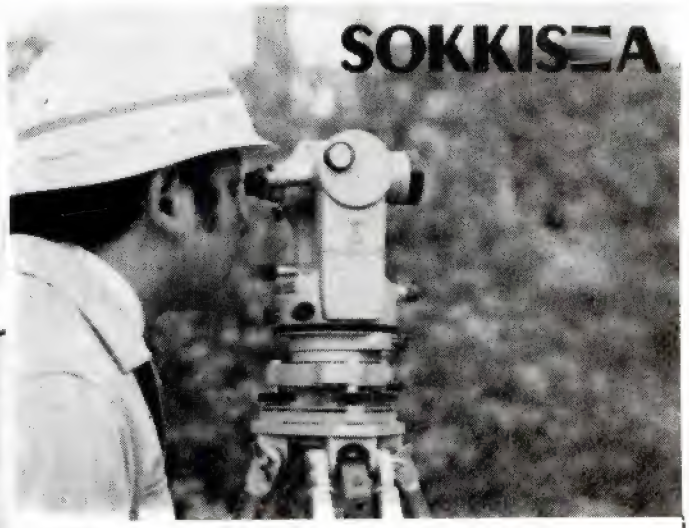
MINNESOTA (3M) DE PORTUGAL, LDA.
Rua do Conde de Redondo, 98 – 1199 LISBOA CODEX
Tel. 56 11 31
Rua da Boavista, 476 – 4000 PORTO
Tel. 2 20 54

MINNESOTA (3M) DE PORTUGAL, LDA.
R. do Conde de Redondo, 98 – 1199 LISBOA CODEX — RE

Sem qualquer compromisso solicito:
☐ informações mais detalhadas ☐ Visita de um técnico especialista

Empresa ..... Actividade .....
Contactar com ..... Cargo .....
Morada .....
Localidade ..... Tel .....

3M



MATERIAL TOPOGRÁFICO JAPONÊS

O MELHOR E MAIS BARATO NO MERCADO PORTUGUÊS – GARANTIA E ASSISTÊNCIA TECNICA – PEDIDOS DE CATALOGO E PREÇOS AO REPRESENTANTE EXCLUSIVO

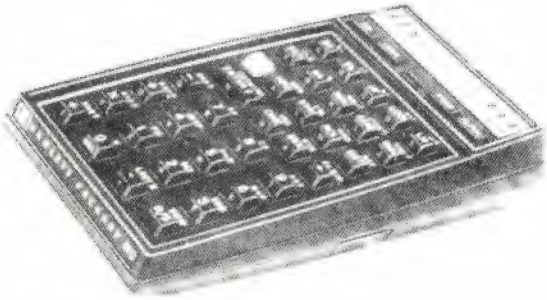
MATERIAL DESENHO «NEOLT»

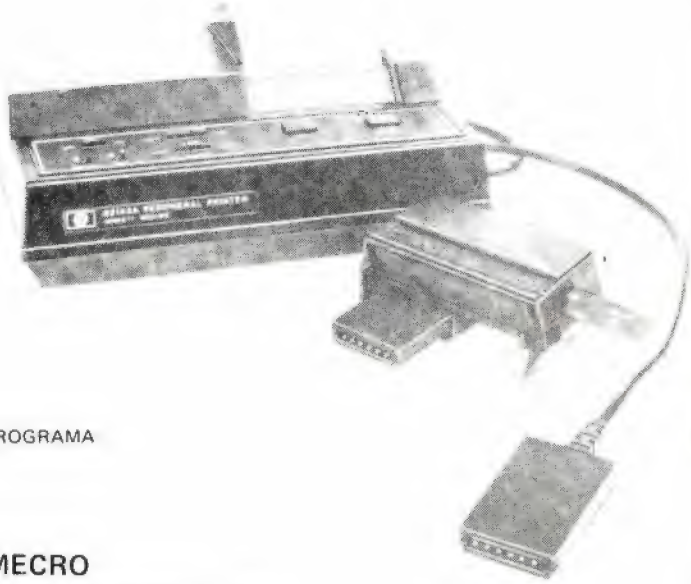
ESTIRADORES, MAQUINAS DESENHAR, HELIOGRAFICAS, GUILHOTINAS, CANDEEIROS, ETC.
PEDIDOS DE CATALOGOS E PREÇOS AO REPRESENTANTE E DISTRIBUIDOR:

NUCLEON - EQUIPAMENTOS DE PRECISÃO, Lda.
AV. COLUMBANO BORDALO PINHEIRO, N.º 57-A
1000 LISBOA
TEL. 770237/770351
TELEX: 16691 - MUNTER - P

HEWLETT hp PACKARD

DIMECRO ... ULTIMA PALAVRA EM CALCULADORAS DE BOLSO





CALCULADORA:

- PROGRAMÁVEL COM MEMÓRIA CONTÍNUA
- ALFANUMÉRICA
- CRISTAIS LÍQUIDOS
- MEMÓRIA EXPANSÍVEL ATÉ CERCA DE 2300 PASSOS DE PROGRAMA
- POSSIBILIDADE DE LIGAR PERIFÉRICOS

CONSULTE-NOS PARA INFORMAÇÕES MAIS DETALHADAS

DIMECRO

REPRESENTAÇÕES COMERCIAIS E TÉCNICAS, LDA
Sede: Rua Joaquim António de Aguiar, 41, 6º. Esq – 1000 LISBOA
Telefones 53 76 12/53 79 49 TELEX. 14093
Filial: Rua Formosa, 126, 1º. dtº. – 4000 PORTO
Telefs. 2 05 68/31 10 80

SIMRIT
SIMMERRING®
Anel de Vedação
Radial de Veios
com lábio de vedação em Vlies

SIMMERRING®
Anel de Vedação de Veios com lábio de vedação em Vlies
D.P. 2339353.5 – 12

Um elemento de vedação para massa e sujidades totalmente novo. Feito à medida.
Este vedante deriva da família dos SIMMERRING – Vedantes Radiais de Veios. Por essa razão se chama também: SIMMERRING – Anel de Vedação Radial de Veios com lábio vedante em "Vlies".
O Anel de Vedação Radial de Veios monta-se indiferentemente em construção de máquinas, na indústria eléctrica ou na indústria automóvel. Esqueça tudo o que montou até agora para vedação de massa. Eis uma nova dimensão.

Qualidades

O SIMMERRING – Anel de Vedação Radial de Veios com lábio vedante em "Vlies" é, quanto à possibilidade de vedação, comparável a um Vedante Radial de Veios em material elástico montado para vedação de massa. A permeabilidade ao ar do "Vlies" impede a formação de pressões excessivas. Daí resulta um menor desgaste comparativamente a um anel em elastómero, visto que o lábio vedante não é adicionalmente pressionado contra o veio.
Evita também o desgaste do veio. Em eventual funcionamento a seco está previsto um depósito de lubrificação.

Formatos

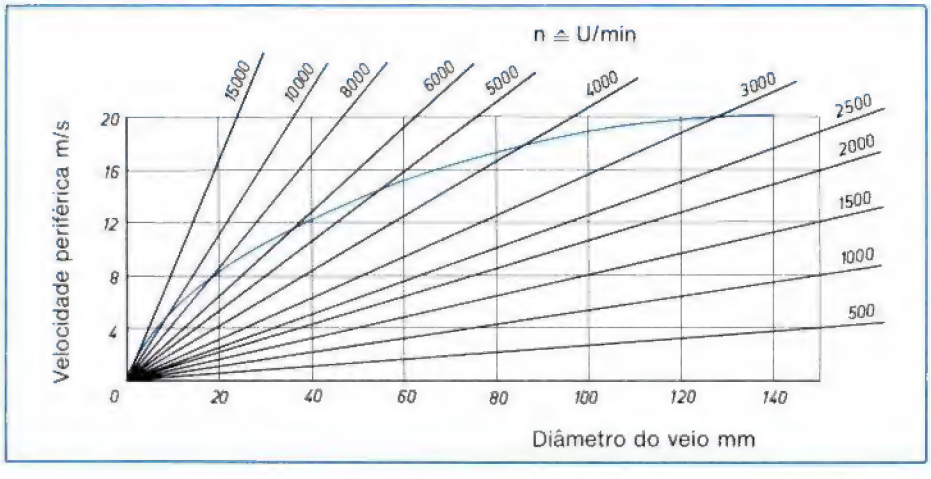
BVK com caixa em material sintético de diâmetro exterior até 62 mm.
BVM com caixa metálica de diâmetro exterior a partir de 62 mm.
Para um determinado valor do diâmetro exterior encontrará uma variada gama de diâmetros do veio. Por exemplo, para um diâmetro exterior de 16 mm encontrará valores entre 4 e 9 mm para diâmetro possível do veio.

Materiais

Caixa: Poliester ou chapa de aço.
Lábio Vedante: Tecido de Vlies, ligado por tratamento especial.

Campo de aplicação

Meio: massa mineral
Temperatura: ≦ 100 °C
Velocidade de Rotação: os valores do diagrama são valores de referência. Segundo as condições de aplicação estes valores poderão ser ligeiramente ultrapassados.



Superfícies

Furo da caixa: R_{max} = 6–12 µm
Eixo: R_{max} ≦ 10 µm

Montagem

Em funcionamento a face fibrosa do lábio vedante tem de estar sobre o veio (fig. 1).
Se, após a montagem, a face azul de poliuretano ficar am contacto com o veio, o lábio vedante terá de ser virado.
Para virar o lábio vedante dos anéis de vedação radial de veios, em veios de diâmetro inferior a 65 mm, poderá recorrer-se ao próprio folheto de instruções, que segue junto, enrolado em volta do veio. Para veios cujo diâmetro exterior é superior a 65 mm é necessário um tubo auxiliar de montagem correspondente ao diâmetro do veio de acordo com
Diâmetro interior: Diâmetro do veio + 0,5 mm, conicidade 15 vindo a morrer sem cantos vivos.

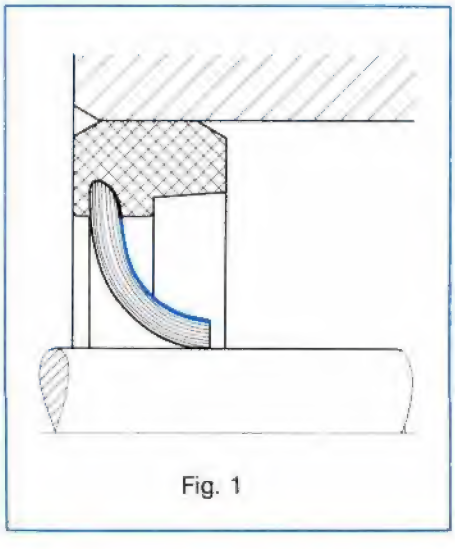


Fig. 1

Diâmetro exterior: Diâmetro do veio + 4 mm.

Sequência de montagem:

1. O anel de Vedação Radial de Veios é introduzido à pressão no furo da caixa (fig. 2).
2. O lábio vedante é empurrado para a posição correcta com a ajuda do tubo auxiliar de montagem (Figs. 3 e 4).

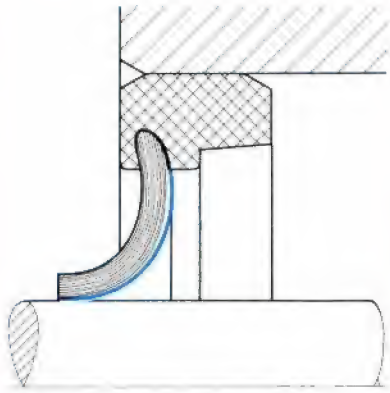


Fig. 2

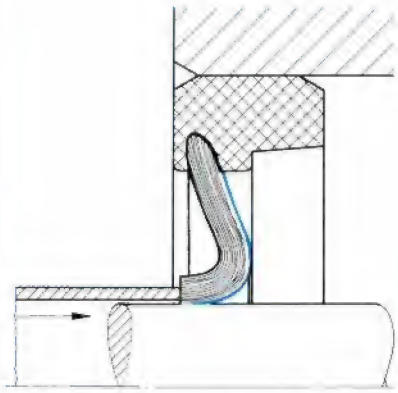


Fig. 3

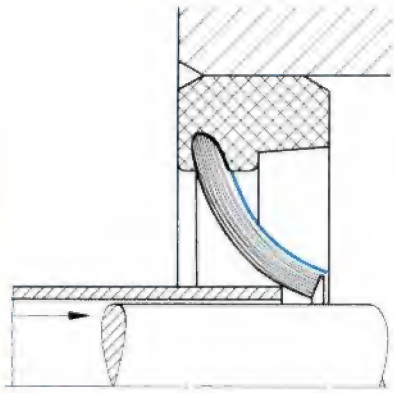
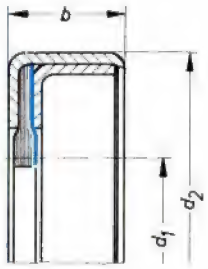


Fig. 4

Peças standard
SIMMERRING – Anel de Vedação Radial de Veios
Formato BVM

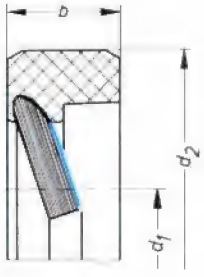


Para Ø do veio d_1 entre ...	e ... *	Ø exterior d_2	Tolerancia	Largura b
38	48	65	+0,23 / +0,13	7
43	53	70	+0,23 / +0,13	8
48	58	75	+0,23 / +0,13	8
53	63	80	+0,25 / +0,15	8
58	68	85	+0,25 / +0,15	8
63	73	90	+0,25 / +0,15	10
68	78	95	+0,25 / +0,15	10
71	81	100	+0,25 / +0,15	10
76	86	105	+0,25 / +0,15	10
81	91	110	+0,25 / +0,15	12
86	96	115	+0,25 / +0,15	12
91	101	120	+0,28 / +0,18	12
96	106	125	+0,28 / +0,18	12
101	111	130	+0,28 / +0,18	12
106	116	135	+0,28 / +0,18	12
111	121	140	+0,28 / +0,18	12
116	126	145	+0,28 / +0,18	12
121	131	150	+0,28 / +0,18	12

* O Ø do veio d_1 pode ser escolhido livremente dentro dos domínios dados.

Exemplo de encomenda:
SIMMERRING – Anel de Vedação Radial de Veios
BVM 60 – 85 – 8

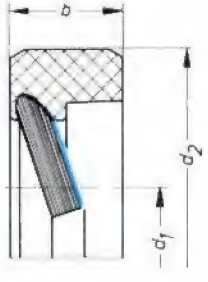
Peças standard
SIMMERRING – Anel de Vedação
Radial de Veios
Formato BVK



Para Ø do veio d_1 entre ...	e ... *	Ø exterior d_2	Tolerancia	Largura b
6	9	16	+0,40 +0,10	4
6	12	22	+0,40 +0,10	5
10	17	28	+0,50 +0,20	6
14	23	35	+0,55 +0,25	7
15	30	42	+0,60 +0,30	7
20	35	47	+0,65 +0,35	7
22	40	52	+0,70 +0,40	7
25	48	62	+0,80 +0,50	8

* O Ø do veio d_1 pode ser escolhido livremente dentro dos domínios dados.

Programa de fabrico
SIMMERRING – Anel de Vedação
Radial de Veios
Formato BVK



Ø do Veio d_1	Ø exterior d_2	Tolerancia	Largura b
6 7 8	16	+0,40 +0,10	4
6 10 12	22	+0,40 +0,10	5
12 15 17	28	+0,50 +0,20	6
15 17 20 22	35	+0,55 +0,25	7
20 25 30	42	+0,60 +0,30	7
20 25 28 30 32 35	47	+0,65 +0,35	7
25 30 32 35 38	52	+0,70 +0,40	7
30 35 40 42 45	62	+0,80 +0,50	8

Exemplo de encomenda:
SIMMERRING – Anel de Vedação
Radial de Veios
BVK 25 – 42 – 7

CARL FREUDENBERG

FAG PORTUGUESA, L.DA
Rua Delfim Ferreira · PORTO
Telefone: 64141 · Telex: 22300 FAGP

A matemática na formação de cientistas e engenheiros [*]

F. R. DIAS AGUDO
Universidade Nova de Lisboa

A preocupação com os problemas levantados pelo ensino da matemática para cientistas e engenheiros não é de hoje. Para citar só aguns exemplos, comecemos por referir que, há cerca de 20 anos, a França sugeriu junto da O. E. C. E. a realização de um colóquio precisamente com o objectivo de definir *os conhecimentos matemáticos indispensáveis ao físico e ao engenheiro*, podendo ler-se no relatório que veio a ser publicado («MATHÉMATIQUES POUR PHYSICIENS ET INGÉNIEURS», Paris 1961) os seguintes motivos para a realização desse colóquio:

Em certos países, como a França, o conhecimento de um extenso programa de matemáticas está na base dos estudos científicos ou técnicos superiores e constitui uma barreira a ultrapassar antes de poder prosseguir os estudos em causa. Se esta barreira é difícil de transpor, grande número de jovens com vocação para as técnicas e para a investigação experimental são afastados e perdem a coragem... quando, para eles, os conhecimentos matemáticos deviam ser apenas um instrumento para compreender as publicações científicas e técnicas e para basear as suas próprias investigações. Os estudos matemáticos feitos só com objectivos abstractos não são necessários aos futuros investigadores e engenheiros. Pode recear-se que o ensino das matemáticas, naturalmente confiado a matemáticos, exceda em demasia esta medida. Nestas condições seria de muito interesse definir o programa de matemática que, sem discussão, é indispensável aos engenheiros e aos investigadores das ciências experimentais.

Outras organizações internacionais, incluindo a UNESCO, continuaram a interessar-se por este problema e a O. C. D. E. (sucessora da O. E. C. E.) publicou em 1965 novo trabalho com os resultados de um seminário realizado nos princípios desse ano sobre *Formação matemática de engenheiros*.

Entre nós, o problema também não tem sido descurado. Foi analisado, nomeadamente, no Congresso do Ensino da Engenharia de Novembro de 1962, e, mais recentemente, por uma comissão *ad hoc* que, no âmbito da Ordem dos Engenheiros, se preocupou com a estrutura dos cursos de engenharia, e por uma comissão científica inter-universitária que em 1977 foi incumbida pelo Ministério da Educação de dar parecer sobre os planos de estudo da parte básica desses cursos. **

Que o problema não perdeu actualidade, mostra-o o interesse revelado pela Comissão Portuguesa de Mecânica Teórica e Aplicada ao incluir neste congresso um colóquio sobre *O ensino da matemática e da física para cientistas e engenheiros*. Fazemos votos para que os trabalhos correspondam aos seus propósitos. Pelo que nos diz respeito, agradecemos à comissão organizadora o honroso convite que nos dirigiu para tomar parte activa no colóquio. Recorreremos sobretudo à nossa experiência de largos anos de ensino de matemáticas básicas para engenheiros e outros cultores das ciências experimentais, combinando considerações teóricas com aspectos mais práticos; e se tivermos de nos repetir ou de repetir afirmações já feitas na primeira parte deste colóquio, que isso seja entendido como tomada de posição sobre os assuntos ventilados e desejo de os ver discutidos no final da exposição.

Em linhas gerais, procuraremos abordar temas como:

1. Objectivos da matemática na formação de cientistas e engenheiros.
2. Matérias a ensinar — o que por sua vez dependerá de

   2.1. Preparação anterior
   2.2. Duração dos cursos (e graus académicos)
   2.3. Relação com outras disciplinas básicas

3. Métodos de ensino
4. Docentes de matemática para cientistas e engenheiros.

Não podemos contudo colocar estas rubricas em compartimentos estanques, e elas poderão surgir algumas vezes imbricadas umas nas outras. Também teremos presente que o problema do ensino da matemática

* Conferência proferida no 2.º Congresso Nacional de Mecânica Teórica e Aplicada, Lisboa, Outubro de 1979.
** Veja-se «Técnica» 440/441.

para cientistas e engenheiros é apenas uma peça de um todo mais geral, pelo que a questão terá de ser vista no âmbito de um sistema de ensino, em particular no quadro do ensino pós-secundário.

—— // ——

Seria descabido desenvolver aqui o importante papel que atingiu a matemática no mundo contemporâneo. Bastará referir que nos últimos anos ela foi penetrando, com sucesso crescente, em cada vez mais ramos do conhecimento; há muito considerada indispensável para as ciências físicas e suas aplicações, ela foi depois introduzida em Departamentos ou Faculdades de Biologia, Medicina, Linguística, Direito, Filosofia; os métodos da matemática foram solicitados para resolver problemas administrativos, de transportes, de comunicações; intervêm na economia e noutras ciências sociais e humanas; e, como reflexo, nasceram teorias novas, como a programação matemática, a teoria das filas de espera, a teoria dos autómatos, a linguística matemática. E se juntarmos a tudo isto a introdução, na vida moderna, dos computadores em larga escala, compreenderemos a importância social e cultural que adquiriu a matemática nos nossos dias.

Esta penetração crescente da matemática nos vários ramos do conhecimento poderá levar alguns responsáveis pela organização de cursos de engenharia (e outros) a neles quererem incluir mais material de formação básica do que será razoável em face da extensão não exagerada que os cursos devem ter. Como em muitas outras situações, o difícil não será indicar se um assunto é ou não importante em si mesmo, mas sim fazer opções, fixar prioridades entre todas as matérias que poderiam ter interesse para o curso e, para isso, convirá naturalmente dispor de critérios adequados.

Surge assim, naturalmente, a questão dos *objectivos da matemática na formação de cientistas e engenheiros.*

Creio ser opinião geralmente aceite que as cadeiras de matemática incluídas nos cursos científicos e técnicos superiores têm dois objectivos igualmente importantes e de modo algum contraditórios: se, por um lado, devem dar ao estudante conhecimentos e técnicas que virá a utilizar nas cadeiras da especialidade e no exercício da profissão, elas devem, por outro lado, habituá-lo a raciocinar com clareza e precisão, ampliar a sua ânsia de saber, desenvolver a sua capacidade para adquirir novos conhecimentos. Não se limitando ao *como*, o professor deve também satisfazer o estudante com o *porquê* das coisas, relacionar as matérias, ordená-las logicamente sempre que haja lugar para isso, visto que o aluno as apreende com tanto maior facilidade e proveito quanto maior for a conexão que sinta entre elas. De outra forma: treino no raciocínio lógico e meio para despertar no estudante o gosto pela pesquisa; e linguagem e técnicas adequadas para a expressão de numerosos fenómenos físicos, para a generalização a partir da experiência, para a criação de modelos que mais facilmente interpretem os fenómenos em estudo.

—— // ——

Ao estruturar os programas de matemática para engenheiros (fixemo-nos nesta situação concreta), há pois que ter em mente as aplicações possíveis e o encadeamento lógico das matérias, a que juntaremos ainda os aspectos psico-genéticos (pois, não raras vezes, as dificuldades dos alunos resultam, apenas, de lhes serem apresentadas, antes do tempo, matérias para cuja apreensão ainda não estão preparados). É em relação às aplicações que se torna indispensável o diálogo entre os matemáticos e os especialistas dos vários ramos de engenharia. Que sejam eles a indicar-nos os temas que julgam com mais interesse para a prática profissional, que nós depois fixaremos os conhecimentos básicos indispensáveis para o seu entendimento, o respectivo encadeamento lógico, e a altura do curso em que mais convirá leccioná-los.

No caso da matemática, há uma dificuldade adicional ao seleccionar as matérias: é que, ao contrário do que acontece noutras ciências, cada geração de matemáticos vai adicionando novo material a velhas estruturas, sem que se possam pôr de parte os conhecimentos antigos. Daí o grande interesse, direi mesmo a necessidade, de englobar esses conhecimentos em sínteses cada vez mais gerais — o que é, como se sabe, uma das características da matemática dos nossos dias — para que se torne possível ensinar (e aprender) mais matéria no mesmo tempo.

Se me permitem ilustrar com um exemplo extraído da minha própria actividade profissional direi que, quando em 1959, na cadeira de Matemáticas Gerais do Instituto Superior Técnico, comecei por dar um grande desenvolvimento à álgebra linear (contra o que era habitual até então) foi por julgar que se tratava de matéria importante mas, ao mesmo tempo, fácil de apreender por alunos de 17, 18 anos; e se desenvolvi o estudo das quádricas, também de forma diferente do que era usual — como aplicação da teoria dos espaços vectoriais e suas transformações lineares — foi com a preocupação, atrás referida, de incluir conhecimentos velhos mas ainda úteis em teorias mais gerais. Dessa forma, os alunos aprendiam, através de um caso concreto, as propriedades, tão importantes, dos valores próprios e vectores próprios de uma matriz (e de uma transformação linear) e, ao mesmo tempo, tomavam um primeiro contacto com conceitos que mais tarde poderiam ver desenvolvidos na álgebra tensorial, na teoria dos pequenos movimentos, na estabilidade do equilíbrio.

Levando em conta todas as condições que expusemos — papel formativo e informativo da matemática, aplicações possíveis, encadeamento lógico das matérias, condições favoráveis de aprendizagem — julgo não ser muito polémico que *as seguintes matérias devam fazer parte da formação de cientistas e engenheiros:*

Números reais e complexos
Espaços vectoriais
Transformações lineares e matrizes. Sistemas de eq. lineares

Determinantes
Produto interno, externo e misto
Geometria analítica do 1.º e 2.º graus

***

Funções reais de uma variável: limites e continuidade
Cálculo diferencial em R: teoremas fundamentais e aplicações (máx. e mínimos, cálculo de limites, representação gráfica de funções)
Séries
Cálculo integral em R: primitivas, integral de Riemann, integrais impróprios, aplicações (comprimentos, áreas, volumes, momentos)
Generalidades sobre linhas em R^2 e R^3
Funções reais de mais do que uma variável: limites e continuidade; derivação parcial; derivada segundo um vector; gradiente, divergência, rotacional
Fórmula de Taylor e aplicações (máx. e mínimos)
Referência às funções definidas implicitamente: cálculo das derivadas
Integrais duplos e triplos e aplicações. Integrais de linha e de superfície
Equações diferenciais ordinárias

***

Noções de programação automática
Resolução numérica de equações algébricas (lineares e não lineares) e de equações diferenciais ordinárias

***

Elementos da teoria das probabilidades
Variáveis aleatórias, funções de distribuição, momentos e funções geradoras; distribuição binomial, de Poisson e normal
Testes de hipóteses; estimação
Correlação e regressão simples

De acordo com o último plano de estudos de engenharia oficialmente aprovado (Decreto 540/70), estão consagrados à matemática sete semestres lectivos com um total de horas que corresponde a cerca de 15 % da escolaridade total do curso — o qual se desenvolve ao longo de cinco anos. As matérias apresentadas ocuparão seis semestres ficando ainda um por preencher. Mas, nos nossos dias são muito mais numerosos os assuntos de matemática que têm vindo a impôr-se como importantes para as ciências da natureza e suas aplicações. Citemos a título de exemplo (com eventuais sobreposições):

Funções de variável complexa
Equações diferenciais parciais
Cálculo tensorial
Equações diferenciais não lineares
Equações integrais
Cálculo das variações
Teoria do potencial
Análise de Fourier
Cálculo operacional
Topologia (teoria dos grafos, em especial)
Desenvolvimentos em séries de funções ortogonais
Teoria da estabilidade (Lyapunov)
Análise numérica avançada
Estatística avançada
Teoria da informação
Processos estocásticos
Programação matemática
Investigação operacional
Teoria da decisão
etc.

Que critérios utilizar agora para a selecção destas novas matérias, que podemos dizer de segundo nível? Ora, é precisamente àcerca desta questão que vêm ao cimo as maiores deficiências que frequentemente têm sido apontadas à estrutura dos cursos de engenharia no nosso país. Há muito que sou partidário da organização desses cursos em duas fases bem distintas — chamemos-lhes *graduação* e *pós-graduação* — reservando as matérias mais avançadas, que acabámos de apresentar, para a segunda fase e escolhendo cada aluno as que mais lhe interessarem, em conformidade com a especialidade que pretende adquirir.

Não podemos ter a pretensão de ensinar tudo a todos, e já em 1961, numa semana de recepção aos alunos no Instituto Superior Técnico, eu afirmava que, numa época em que a ciência e a técnica se expandem constantemente, o que mais importa é preparar o estudante para estudar e resolver por si problemas diferentes dos que tenha encontrado no seu curso, e que venham a surgir-lhe na prática.

Sempre me causou uma impressão desfavorável o facto de, numa estatística da O. C. D. E. anterior a 1970, se verificar que o primeiro grau de um curso universitário de engenharia exigia quatro anos em países como o Canadá, Irlanda, Japão, Reino Unido, Estados Unidos e Alemanha, cinco anos na Áustria, Bélgica, França, Itália, Holanda, Países Escandinavos, Espanha e Turquia e, de entre um conjunto de quinze países, só em Portugal o curso se desenvolvia ao longo de seis anos! A reforma de 1970 diminuiu a duração para cinco mas continua a ser minha opinião que, combinando a situação actual com o projectado 12.º ano de escolaridade, se reduza o primeiro grau para quatro anos, institucionalizados que sejam os cursos de pós-graduação — o que resolveria muitos dos problemas que surgem pela necessidade de dispor de engenheiros investigadores, engenheiros de projecto, engenheiros *operacionais*. A idade normal de obtenção do primeiro grau não seria alterada; mas como há matérias básicas de álgebra linear, análise, geometria, probabilidades e estatística (para só falar na matemática), que hoje interessam também a futuros médicos, farmacêuticos, sociólogos e outros profissionais, haverá vantagem em as apresentar a todos em conjunto, num 12.º ano de escolaridade, com a vantagem adicional de se dar aos jovens a oportunidade de adiarem, por mais um ano, a sempre delicada escolha da futura profissão.

***

Quanto às relações da matemática com outras disciplinas básicas, em particular com a física (que foi objecto da primeira parte deste colóquio) nunca foram fáceis entre nós as ligações entre os programas das disciplinas destes dois ramos do conhecimento. Durante muito tempo a primeira disciplina de física surgia no segundo ano da universidade, mas professores havia que consideravam que a preparação matemática com que os alunos se apresentavam não era bastante para aquilo que eles gostariam de ensinar. Com a reforma de 1970, aumentou-se a escolaridade da matemática no primeiro ano; mas como a física também foi antecipada, as dificuldades que os alunos encontravam, com 18/19 anos, pela ausência de uma boa coordenação entre os programas, acabaram por lhes aparecer um ano mais cedo! Não me parece que a solução do problema esteja em exigir que os alunos saibam mais matemática quando lhes surgem as primeiras disciplinas de física mas sim em haver nestas uma maior preocupação com a transmissão de conceitos básicos, com os aspectos experimentais. Que dirão os que insistem em dar ênfase às deduções teóricas se lhes recordar que, numa escola de engenharia tão famosa como o Massachusetts Institute of Tecnology, as disciplinas de matemática absolutamente indispensáveis para o primeiro grau académico (4 anos) não vão além de 10 % da escolaridade total (em geral um curso anual de cálculo, um semestre de equações diferenciais e alguma álgebra linear)?

—— // ——

Falemos por último dos *métodos de ensino* e da escolha dos *docentes mais adequados para a formação matemática de cientistas e engenheiros*. Questão sem dúvida controversa, ela levou-me a escrever, em 1972, nas Primeiras Jornadas Matemáticas Luso-Espanholas:

Cientistas de outras especialidades reconhecem a necessidade cada vez maior de matematizar as suas disciplinas mas, paradoxalmente, muitos ainda opõem grande resistência a que sejam matemáticos a ensinar-lhes as matemáticas de que precisam. Porque se preocupam exclusivamente com estudos de significado prático imediato, não vendo que essa é a forma mais segura de limitar a utilidade da ciência? Porque se esquecem de que, na era da educação permanente, o que é fundamental é desenvolver nos estudantes a capacidade para aprender, o gosto pela inovação, e que, em vez de lhes ensinar apenas o que é de aplicação imediata, o que mais interessa é prepará-los para enfrentar situações novas? Ou haverá também culpa dos próprios professores de matemática que, segundo algumas críticas, se isolam demasiado das outras ciências e não procuram, nas suas lições, o equilíbrio entre o teórico e o prático, o abstracto e o concreto?

O mais certo é que tenha havido, algumas vezes, falta de diálogo, com culpas de ambos os lados. Em minha opinião, e pelos objectivos que apontei às disciplinas básicas de matemática nos cursos de engenharia, tais disciplinas devem ser orientadas por profissionais de matemática que, no entanto, não levem o seu entusiasmo pela abstracção e fundamentação lógica ao ponto de esquecerem os interesses dos engenheiros; e haverá mesmo vantagem em que possam ser coadjuvados nas ligações entre a teoria e a prática por engenheiros das várias especialidades. Produzem sempre mais resultados casos — que, felizmente, julgo cada vez mais raros — de professores que, esquecendo que eles próprios aprenderam a sua ciência a partir de bases concretas e daí se elevaram para as abstracções, pretendem, depois, que os jovens comecem por aprender as teorias já numa forma abstracta, preocupados apenas com a lógica das matérias, e com total desprezo pelas motivações. Sem desrespeito pelo rigor que é devido à inteligência dos alunos, o professor de matemática de uma escola de engenharia, deve, pois, evitar abstracções prematuras. Como já dizia em 1961, na citada semana da recepção aos novos alunos, ele deve conhecer a importância de invocar, sempre que possível, questões de realidade física de que um dado problema matemático possa servir de modelo; deve ter presente que não basta provar que um problema tem solução, mas que é fundamental obter essa solução, pelo que não deve ignorar a importância excepcional que assumiram as recentes técnicas de cálculo numérico. Enfim: ensinar os alunos a obter conclusões lógicas a partir de hipóteses feitas não implica afastamento da realidade física.

A teoria deve ser desenvolvida em completo paralelismo com a prática correspondente. Não sou partidário da supressão da chamada aula teórica, como há anos insistentemente se pedia, pois as boas sínteses são sempre de grande valor. Mas evitemos estabelecer compartimentos estanques entre as aulas teóricas e as práticas, devendo antes fazer-se a interligação teoria-prática de acordo com a evolução da matéria ensinada e com o rendimento da aprendizagem revelado pelos alunos. Hoje é já pacífico afirmar (mas talvez o não fosse entre nós, há uma vintena de anos), que os estudantes dos primeiros anos devem ser habituados a atacar por si próprios os problemas que lhes propõem, e a só pedir ajuda quando encontrem alguma dificuldade que não consigam transpor; devem reconhecer que, não raras vezes, lucram mais com meia hora de reflexão sobre um problema que não conseguem resolver, do que com a aprendizagem de uma questão... resolvida por outro; que quanto mais conseguirem descobrir por si mesmos tanto maior será o seu domínio sobre as matérias que vão aprendendo; que o professor de matemática deve encorajar o aluno a pôr questões, deve ir ao encontro do seu raciocínio (em vez de lhe impôr a sua própria maneira de pensar) para o apreciar e criticar, para ver o que tem de aproveitável e muitas vezes mesmo para tirar partido dos insucessos em proveito do estudante. Mas, com isto, estou certamente a descer a pormenores desnecessários, hoje por demais reconhecidos; e por isso o melhor será passarmos à discussão dos vários pontos expostos, que julguem merecedores de debate.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

Les encroûtements calcaires et la construction de chaussées en Afrique du Nord
(deuxième partie)

JOSÉ CARLOS DE O. S. HORTA
Geólogo

RESUMO

Propõe-se uma definição geotécnica dos *tufos de pavimentação*. São seixos mais ou menos friáveis com finos muito carbonatosos (mais de 70 % de carbonetos na porção que passa através do peneiro de 0,4 mm), que se compactam humidificados, depois de uma certa elaboração geralmente sumária, nas bases e sub-bases das zonas mediterrânicas sub-húmida e semi-árida. Não se deveria falar de tufos de pavimentação na zona climática húmida.

Propõe-se também uma classificação dos tufos de pavimentação, recorda-se as regras de construção dos pavimentos em tufo e descrevem-se algumas observações sobre o comportamento destes. O fenómeno de endurecimento ou autoestabilização destes materiais parece ligado às cristalizações de calcite como consequência da evaporação da água de compactação.

Por outro lado, quando se encaram as crostas calcárias na qualidade de solos de fundação de estradas, surge a necessidade de completar as classificações usuais de solos de estradas. No caso da classificação unificada USCS, a proporção de carbonetos da porção que passa através do peneiro de 0,4 mm deve intervir na definição dos solos encrostados, uma nova classe de solos de estradas. Os seixos cuja proporção de carbonetos ultrapassar 60 % na porção inferior ao peneiro de 0,4 mm serão *seixos de encrostamento, GE* e as areias que tiverem um teor de carbonetos superior a 40 % serão *areias de encrostamento, SE*.

ABSTRACT

A geotechnical definition of the *pavement tufa* is proposed. These are more or less friable gravels containing highly carbonated fines (more than 70 % carbonates in the passing through the 0,4 mm sieve), compacted with water after a generally brief elaboration in the pavement courses of the subhumid and semi-arid mediterranean zones. In the humid climate zone it is not desirable to talk about pavement tufa. A classification of the pavement tufa is also proposed. The rules for the construction of tufa courses are remembered and certain observations on their performances are described. The phenomenon of hardening or selfstabilization of these materials seems to be related to the cristallizations of calcite following the evaporation of the compacting water.

From another viewpoint, when the calcareous crusts (caliches or calcretes) are considered as road foundation soils, it is necessary to generalize and complete the usual road soils classifications. In the case of the USCS classification, the carbonate content of the passing through the 0,4 mm sieve has to be introduced in the definition of the encrusted soils, a new class of road soils. Gravels having a carbonate content superior to 60 % in the fraction passing through the 0,4 mm sieve are defined as *calcrete gravels, GE* and sands containing more than 40 % carbonates in this fraction are defined as *calcrete sands, SE*.

2 DÉFINITION GÉOTECHNIQUE DES TUFS

2.1. Essais de laboratoire

L'identification des tufs de chaussée devra se faire sur des échantillons correctement prélevés. Le prélèvement correct demande certaines précautions du fait de la variation verticale des caractéristiques de ce matériau.

Pour prélever un échantillon sur une coupe d'un gisement il faudra tout d'abord écarter l'horizon A ou terre végétale facilement reconnaissable à sa couleur. L'échantillon sera prévelé dans une saignée ou rainure verticale sur l'épaisseur de l'horizon B_{ca}, dont la granulométrie est variable. Une difficulté consiste à fixer la limite inférieure de cet horizon: on pourra s'arrêter à la base de la croûte ou prélever aussi une certaine épaisseur d'encroûtement nodulaire, selon les

* La première partie de ce travail est parue dans le numéro 460 de cette revue.

Manuscrito recebido para publicação em 26/1/77.

cas. La granulométrie obtenue sera celle d'une grave. La teneur en carbonates de l'échantillon représentera la valeur moyenne sur la tranche prélevée.

Un échantillon prélevé dans ces conditions donnera une idée du touth-venant obtenu après gerbage de la couche correspondant à l'encroûtement proprement dit (horizon B_{ca}). Le prélèvement pourra aussi se faire sur des tas de matériaux déjà gerbés, avant répandage. Il faut, dans ce cas, prendre garde à la ségrégation. Il est encore possible, dans des cas particuliers, que l'on s'intéresse seulement à l'un ou l'autre niveau de l'encroûtement, par exemple, la dalle compacte.

Sur les échantillons dont la représentativité aura été assurée par un prélèvement correct, il y a lieu de faire des prises d'essai par quartage ou à l'aide d'échantilloneurs afin de réaliser les essais de laboratoire que nous allons passer en revue.

Calcimétrie par la méthode Dietrich-Frühling qui consiste à comparer le volume de CO_2 dégagé par attaque de la prise d'essai à l'acide chlorhydrique avec celui qui est obtenu sur une poudre étalon de carbonate de calcium pur. Cet essai fourni la teneur en carbonates exprimés en $CaCO_3$ et se faisait sur le passant au tamis de 1 mm. Il est préférable d'exécuter cette détermination sur la fraction qui passe au tamis de 0,4 mm ou mortier. Ces deux tamis sont d'ailleurs assez proches.

Analyse granulométrique par tamisage sous eau selon le mode opératoire LCPC-SG. 2 avec toutefois une particularité: avant de procéder au tamisage, l'échantillon sera mis à détremper dans un bac d'eau pendant douze à vingt-quatre heures. Le but de cette opération est de faciliter la désagrégation de tous les amas calcaires insuffisamment cimentés. La désagrégation est complète lorsqu'il ne reste plus d'éléments susceptibles d'être écrasés sous les doigts.

Essai Los Angeles, mode opératoire A. S. T. M.-C131 sur une prise d'essai de granulométrie A reconstituée à partir de la fraction retenue à la passoire de 12,5 mm de l'essai d'analyse granulométrique. Les éléments soumis à l'essai auront donc été obtenus par lavage. Pour la prise d'essai, la granulométrie A e été retenue de façon à tester la plus large game des différentes fractions granulométriques dont la dureté est variable.

Détermination des limites d'Atterberg W_L et W_P d'après le mode opératoire LCPC-G. 4. Pour la limite de liquidité on utilise la coupelle rugueuse.

La limite de retrait W_S semble tomber en désuétude. Elle est très utile pour distinguer les tufs de chaussée des matériaux argileux ou marneux blanchâtres. Les premiers présentent des limites de retrait supérieures à 20 % et même supérieures aux limites de plasticité.

Détermination de la teneur en sulfates solubles par dosage du précipité de sulfate de barium obtenu par réaction avec le chlorure de barium. Cet essai se fait également sur le passant au tamis de 0,4 mm et la teneur en sulfates est évaluée en gypse, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

2.2. Définition et classification des tufs de chaussée

Les règles pour le choix et l'utilisation de ce matériau traditionnel ont été mises au point, en Algérie, par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en collaboration étroite avec H. CAPEILLE, A. PONTON et d'autres lors des chantiers des grands axes nord-sud à travers les hauts plateaux algérois et la meseta oranaise. Durant les onze années de notre séjour en Algérie, nous avons pu faire de multiples observations et auscultations sur ces chaussées et suivre des chantiers d'assises en tuf. Notre expérience nous a montré le bien-fondé des règles énoncées avant 1962 et nous permet d'y apporter quelques compléments.

On ne devra parler de *tufs de chaussée* que si la teneur en carbonates du passant au tamis de 1 mm dépasse 70 %.

Les résultats de l'essai Los Angeles (ou d'un autre essai de dureté) doivent intervenir pour définir trois types de tufs de chaussée, par ordre de friabilité croissante:

tufs à squelette,
tufs friables,
tufs pulvérulents.

Les limites entre ces trois types sont fixée par des valeurs du coefficient Los Angeles de 35 et 50 % respectivement.

Les conditions d'exécution de l'essai Los Angeles sont celles définies au paragraphe précédent: prise d'essai de granulométrie A obtenue par lavage. La limite des tufs à squelette a été fixée à dessein de façon assez sévère pour rendre obligatoire l'utilisation de la dalle compacte et promouvoir son concassage. La granulométrie n'intervient pas dans cette classification: les tufs sont au départ des graves, mais le compactage fait évoluer leur granulométrie. On peut considérer que les tufs pulvérulents évolueront pratiquement toujours en sable par compactage.

La définition géotechnique des tufs de chaussée basée sur les trois essais fondamentaux devra être complétée par des recommandations relatives à d'autres essais, l'indice de plasticité notament, dont on pourra admettre des valeurs voisines de 9 en zone climatique II et des valeurs encore plus élevées (jusqu'à 13 environ) en zone III.

Les sulfates sont pratiquement absents en zone II: ils y sont rapidement solubilisés. En zone III, ils pourraient contribuer à la rigidité des assises, avec un risque moindre de dissolution. Il convient toutefois de ne pas en abuser même sous climat semi-aride et de refuser les encroûtement gypsifiés en couche de base non traitée. On pourrait fixer les limites supérieures suivantes de la teneur en sulfates: 1 % en zone II et 3 à 5 % en zone III.

Ces règles devraient être appliquées aux niveaux de la prospection et de la réception des matériaux.

Géotechniquement, les tufs seront ainsi des graves plus ou moins friables, à fines très carbonatées, choisies selon des règles précises et mises en oeuvre,

après une certaine élaboration généralement sommaire, par compactage à l'eau, dans les assises des chaussées des zones climatiques subhumide et semi-aride. Il n'y a pas de tufs de chaussée dans la zone méditerranéenne humide.

2.3. Les encroûtements calcaires et leurs succédanés dans les chaussées

Outre les encroûtements calcaires, certaines formations géologiques carbonatées sont susceptibles de fournir des tufs de chaussée.

Voyons d'abord ce que l'on peut tirer des premiers. Sur les figures 7, 8 et 9 (première partie de cet article) porté les courbes granulométriques des tufs qui ont été utilisés, en Algérie, dans les couches de base de différentes chaussées des Hautes Plaines, zone climatique semi-aride. Ce sont des courbes discontinues qui se composent d'une grave assez creuse ,d'un sable et d'un filler. Ces courbes montrent, dans le cas de la R. N. 1, une sélection des matériaux. Par contre, dans le cas de la R. N. 6 et surtout de la R. N. 40, le choix est moins strict. On peut dire que les tufs des figures 7 et 8 proviennent à coup sûr d'encroûtements feuilletés, tandis que ceux de la figure 9 comprennent certains échantillons prélevés sur des encroûtements massifs.

Les coefficients Los Angeles n'ont pas été déterminés sur ces échantillons, mais, sachant que les chantiers qui ont mis en oeuvre de tels matériaux ne disposaient généralement pas de moyens de concassage, on peut dire, que les tufs des couches de base en place ne sont pas toujours des tufs à squelette. En effet, pour obtenir un tuf à squelette, il ne suffira pas d'exploiter un encroûtement feuilleté: il faut aussi mettre en oeuvre ses parties les plus dures, la dalle compacte en premier lieu. Si le chantier ne dispose pas de moyens pour les écraser sur place ou pour les débiter préalablement, les gros blocs de dalle seront abandonnés avec la découverte.

Sachant d'autre part que les encroûtements non feuilletés massifs ou nodulaires correspondent à un enrichissement limité en calcaire et que leur teneur en carbonates reste souvent inférieure à 70 %, on peut dire que *les tufs de chaussée correspondent aux encroûtements feuilletés.*

A partir du moment où l'on a défini les tufs de chaussée, il devient possible d'appliquer les règles énoncées ci-dessus à toutes les graves fortement carbonatées. Tous les calcaires tendres pourront fournir des tufs de chaussée. Les formations géologiques favorables seront les calcaires et calcaires marneux tendres marins ou lacustres, les calcaires gréseux ou grès calcaires et, bien entendu, les tufs calcaires et les travertins. C'est ainsi qu'un calcaire friable à poissons est exploité à Oran depuis l'épuisement des encroûtements calcaires à proximité de cette ville.

L'avantage de ces succédanés des encroûtements est la facilité d'exploitation: réserves plus importantes concentrées sur un même front de taille et abattage sans explosifs. Mais ce qu'il ne faut pas oublier c'est que ces succédanés ne fourniront que des tufs pulvérulents ou des tufs friables. *Seuls les encroûtements calcaires peuvent fournir des tufs à squelette.* Pour obtenir des matériaux plus performants, sans avoir recours aux liants hydrauliques, il faut passer à un stade supérieur d'élaboration: le concassage industriel de calcaires durs.

3. RECHERCHE ET EXPLOITATION DES EMPRUNTS DE TUF

3.1. Règles pour la prospection des encroûtements

La grande abondance des encroûtements dans certaines régions ne rend pas superflue leur prospection. Celle-ci aura pour but de repérer les gîtes les plus proches du tracé, de les reconnaître et d'en choisir les meilleurs par la qualité géotechnique du tuf.

Pour repérer les encroûtements, il convient de se guider par la morphologie du terrain: anciennes surfaces d'érosion et d'accumulation pouvant se trouver surélevées à la suite d'une inversion du relief et d'un surcreusement des vallées (fig. 27 et 33).

FIG. 27

R. N. 28 à 25 km au sud de Sétif, Algérie: deux encroûtements feuilletés superposés se marquant dans le paysage par des cuestas. Le niveau inférieur est un poudingue. Les encroûtements marquent deux arrêts dans la sédimentation d'une série lacustre

On s'intéressera aux terrains à faible pente: il est inutile de chercher des encroûtements sur les versants raides des montagnes. En regardant le paysage, on repèrera les points les plus élevés et on les prospectera de préférence: c'est, en effet, sur les bosses du terrain que la découverte sera la plus faible et l'encroûtement aura ici des chances d'être bien développé et puissant et de ne pas avoir subi des redissolutions importantes lors des périodes pluviales postérieures à sa formation.

L'encroûtement est presque toujours recouvert par la terre végétale. A part la morphologie du terrain,

FIG. 28

R. N. 8, emprunt du PK 170, Algérie. Cette coupe montre l'encroûtement moulouyen qui a été soumis à un lessivage du calcaire à cet endroit. Noter l'aspect crayeux de la dalle devenue très friable. Les taches jaunes de limonite épigénisant des concrétions calcaires sont très caractéristiques des encroûtements lessivés mais n'apparaissent pas sur cette photo. Comparer l'aspect de la dalle de cet encroûtement à celui de la figure 28

FIG. 29

Carapace moulouyenne peu altérée: noter la structure conglomératique rubanée (R. N. 40 près de Boughzoul, Algérie)

rien ne laisse parfois présager de sa présence ni de sa qualité. Les coupes et les profils de sols dégagés ne sont pas fréquents dans les terrains à sols encroûtés qui se situent très souvent dans des plaines plus ou moins monotones, ainsi que dans les glacis de piedmont. Un indice précieux dans les régions habitées et cultivées est la présence de blocs de dalle et croûte ou «pierre de tuf» enlevés par les cultivateurs et souvent utilisés pour construire des murs.

Lors de la prospection on tiendra compte de la remarque du paragraphe 1.5 sur la succession latéencroûtements massifs passent latéralement aux encroûtements feuilletés que l'on recherche.

Il faut généralement éviter les points bas et surtout les points bas humides où les encroûtements risquent d'être altérés par radissolution et lessivage du calcaire. La dalle des encroûtements ayant été soumis au lessivage devient très friable et prend un aspect crayeux (fig. 18 et 28). Le lessivage se reconnait aussi aux taches jaunes de limonite qui remplace la calcite rale des encroûtements: dans certaines conditions, les des concrétions. Le courbe Proctor modifié des tufs prélevés dans des encroûtements lassivés est caractérisée par une très faible densité sèche maximum ($< 1,75$) et par une très forte teneur en eau optimum, voisine de 20 % ou encore plus élevée. Cette courbe est très éloignée de l'hyperbole des vides en raison de la présence de grains de calcite à structure spongieuse.

3.2. Sondages de reconnaissance

La prospection doit avoir recours à des sondages nombreux mais peu profonds.

Du point de vue géotechnique, nous pouvons distinguer dans les encroûtements deux composantes. D'abord les éléments lithifiés (pétrifiés), dont la dalle compacte au sommet des encroûtements et aussi, éventuellement, des concrétions calcaires ou des galets hérités du sol primitif. Tout ces éléments formeront le squelette du tuf et nous pouvons les appeler *tifkert* (terme berbère qui signifie tartre, croûte), en reprenant la nomenclature proposée par J. BOULAINE [8]. La deuxième composante du tuf est constituée par les éléments friables et pulvérulents, que l'on pourrait grouper dans le terme *tafezza* (mont arabe qui a le sans de grès peu consolidé).

Les gisements de tuf sont variables aussi bien verticalement que latéralement. Il importe donc de dres-

ser des coupes précises des sondages de reconnaissance en notant obligatoirement la nature des différents horizons, leurs épaisseurs et profondeurs, présence ou absence de dalle, position de la ou des croûtes, présence de rognons (diamètre $\geqslant$ 40 mm) ou de nodules diamètre $<$ 40 mm), etc. On notera aussi le niveau de disparition des nodules et rognons.

Les sondages de reconnaissance doivent être faits sous la direction d'un technicien supérieur très averti relativement à ce genre de matériau, qui en dressera les coupes et les reportera sur une carte.

On pourrait utiliser une tarière mécanique du type Highway, mais cet engin, dont le grand avantage est la mobilité et la rapidité, a deux inconvénients fâcheux qui sont l'imprécision de repérage des différents niveaux et la difficulté d'attaque des encroûtements mûrs ou bien développés, les plus intéressants géotechniquement. En effet, les outils usuels ne pénètrent pas toujours dans les dalles compactes. Il est donc préférable de procéder par des puits creusés manuellement ou mécaniquement jusqu'au sommet de l'horizon C du sol encroûté (disparition des nodules et rognons). La coupe de sondage gagnera en riguer et le profil pourra être visité autant de fois qu'on le voudra.

Sur les encroûtements présentant des caractéristiques favorables (présence de *tifkert*, puissance), qui seront presque toujours des encroûtements feuilletés, on prélèvera des échantillons pour essais de laboratoire. Après identification sommaire de tous les échantillons (granulométrie et calcimétrie), on fera l'étude géotechnique complète des plus intéressants. Cette deuxième phase d'étude pourra s'intégrer dans une prospection secondaire, à maille plus serrée, des zones intéressantes.

3.3. Découverete et exploitation

L'exploitation des gîtes retenus lors de la prospection secondaire pourra être envisagée sans craindre de grandes surprises, à condition que cette prospection ait été sérieuse.

Toutefois, la présence d'un laboratoire de chantier équipé pour faire au moins les essais fondamentaux est encore nécessaire lors de l'exploitation. En effet, le passage graduel et sans changement de couleur de l'horizon B à l'horizon C peut facilement conduire à des échecs par incorporation à la chaussée de sols argileux qui n'ont du tuf que la couleur blanchâtre. Ici réside la difficulté d'utilisation de ce matériau, dont l'abondance, l'aisance de mise en oeuvre et les performances avaient séduit des ingénieurs clairvoyants et dont le choix parfois inaverti suivi de quelques échecs en a découragé d'autres. Ces échecs peuvent facilement être évités par l'étude préalable des gisements et des emprunts.

Par ailleurs, si on se limite à extraire l'encroûtement feuilleté, les risques d'amener des matériaux indésirables dans la chaussée seront très réduits. De toute façon, il ne faut pas permettre que les empdunts soient exploités au-delà d'une certaine profondeur. Ces

FIG. 30

Emprunt de Boughzoul sur encroûtement moulouyen. Le marteau repose sur un affleurement de feuillets de dalle en place. A coté on voit el toutvenant qui en est extrait et derrière la découverte. Coefficient Los Angeles = 28 % sur échantillon non altéré et 39 % sur échantillon altéré

emprunts doivent s'étendre en surface parfois sur plusieurs hectares.

La première opération lors de l'ouverture d'un emprunt de tuf est la découverte toujours faible, en général, 0,2 à 0,3 m de terre végétale. La deuxième opération consiste à ripper la carapace au bouldozer. Les entrepreneurs connaissent bien la règle empirique d'après laquelle la qualité du tuf est d'autant meilleure que la dalle est plus difficile à défoncer.

Cette dalle pourra être soumise au concassage dans un primaire ou poussée vers le centre de l'emprunt avec l'épaisseur d'encroûtement géotechniquement exploitable, où le tout sera gerbé et mis en tas. Le gerbage est une opération fondamentale visant à assurer l'homogénité et la qualité des tufs de chaussée.

3.4. Elaboration des tufs de chaussée

Avant la mise en oeuvre, le tuf peut être soumis à certaines opérations simples qui visent à améliorer sa qualité. Ces opération seront d'autant plus souhaitables que l'on aura affaire à un tuf plus friable et à un trafic plus élevé. Elles permettent de maîtriser la granulométrie et la dureté du matériau.

Le tuf gerbé aura une granulométrie tout-venant (fig. 7, 8 et 9) avec une forte proportion de cailloux et même de blocs. Ces éléments gênent le compactage par leurs grandes dimensions. On les abandonne souvent aux abords de la chaussée, ce qui n'est pas une bonne solution, puisque ces blocs de dalle et croûte comptent précisément parmi les éléments les plus durs. Il est préférable de les réduire, après régalage, à l'aide d'engins adaptés. Pour cette élaboration in situ, le rouleau à grille (grid-roller) a donné des résultats satisfaisants, mais la méthode idéale d'élaboration des tufs à squelette et des tufs friables est le concassage. Un simple concasseur primaire permet

d'obtenir une grave à granulométrie continue et dureté plus élevée.

Par contre, els tufs pulvérulents excessivement friables peuvent se passer de concassage et évoluent en sable au compactage. A l'état brut, ces matériaux n'ont pas les qualités requises pour être utilisés en couche de base sous un trafic important. Dans ce but, on les a souvent mélangés à des graves roulées. L'exemple classique est celui de l'ancienne couche de base de la R. N. 4 à El Asnam, Algérie: grave de l'oued Chéliff à faible proportion de fines très plastiques mélangée à un tuf pulvérulent à fines très carbonatées extrait de la formation sédimentaire gréso-calcaire de l'avant-fosse miocène.

Il arrive aussi que des encroûtements feuilletés formés à partir de sols argileux fournissent des tufs excessivement palstiques. Le mélange avec des sables propres, des sables de dune généralement, est à envisager dans ce cas.

Pour construire des chaussées devant supporter un trafic relativement élevé, l'élaboration du tout-venant extrait des encroûtements feuilletés devient impérieuse. Seul le concassage de la carapace permettra d'obtenir à coup sûr des tufs à squelette. La granulométrie de ces tufs à squelette gagnera à être améliorée par criblage et recomposition.

Sans sousestimer l'importance de l'élaboration des tufs de chaussée, nous n'insisterons pas davantage sur ce point, persuadés qu'il ne manquera pas de faire l'objet d'études poussées et d'expériences concluantes dans un proche avenir.

4 LES CHAUSSÉES EN TUF

4.1. Mise en oeuvre des assises en tuf

L'optimum Proctor modifié des tufs a lieu pour des teneurs en eau assez élevées dépassant 10 %. Toutefois, la compacité varie très peu avec la teneur en eau. Si la teneur en eau du matériau lors de l'arrosage dépasse la teneur en eau optimum, le tuf forme très vite une boue difficile à compacter et les fines carbonatées risquent d'être évacuées avec l'excès d'eau. Pour obtenir le meilleur résultat au compactage, il convient de mouiller le matériau à une teneur en eau 2 à 3 % plus faible que celle de l'optimum Proctor modifié, ce qui correspond aussi à l'obtention des meilleures caractéristiques mécaniques après compactage.

Le compactage doit être fait d'une seul coup: si l'on essaie de rattraper des flaches en ajoutant du tuf, celui-ci n'adhère pas à la couche sousjacente. C'est le phénomène de feuilletage. Pour compacter une assise épaisse, après compactage de sa couche inférieure, la surface de celle-ci doit être mouillée et scarifiée. On régale ensuite la couche supérieure, on la mouille et on la compacte. De la sorte, on évite le feuilletage entre les deux couches et on assure à l'ensemble un moment d'inertie plus élevé.

Les qualités mécaniques d'une assise en tuf dépendent essentiellement du compactage qui doit être très énergique. Il se fait d'habitude au rouleau à pneus très lourd.

Dans le cas où les blocs de dalle et croûte n'auraient pas été concassés avant répandage du tuf, il y aura un précompactage destiné à réduire les dimensions de ces blocs. L'engin adapté à cette opération est le rouleau à grille qui agit par écrasement et encastrement dans la plateforme des blocs de grandes dimensions.

4.2. Le durcissement des assises en tuf

Les tufs de chaussée présentent des caractéristiques intrinsèques (angle de frottement interne et cohésion) élevées [45] en fonction de l'énergie de compactage. Les conditions climatiques jouent dans le sens de l'augmentation de la cohésion. En zone climatique III, on a mesuré des teneurs en eau sous chaussée assez faibles, inférieures à 6 % en été et proches de 10 % en hiver. Les cas d'imbibition de la chaussée sont rares et exceptionnels.

Les assises en tuf durcissent par séchage après compactage. Les caractéristiques optimales sont atteintes rapidement: le durcissement est achevé au maximum quatre jours après compactage, ce qui correspond bien à la durée du séchage [83]. Certatins ingénieurs conseillent plusieurs arrosages suivis d'autant de séchages afin d'augmenter l'effet de dalle. En effet, on a vérifié au laboratoire que le traitement des moulages par des cycles d'imbibition suivis de séchage faisait croître de manière considérable l'indice C. B. R.

On a parlé de prise du tuf, mais ce terme peut prêter à confusion. Contrairement à la prise hydraulique, ce durcissement est réversible: la portance diminue lorsque la teneur en eau augmente, à l'imbibition, par exemple. Des études in situ restent à faire pour mieux cerner ce problème du durcissement ou de l'autostabilisation ou de l'effet de dalle des assises en tuf.

Au laboratoire, sur des éprouvettes de compression simple, nous avons obtenu, sur la fraction granulométrique 0/5, des modules de déformation compris entre 3000 et 6000 bars à des teneurs en eau résiduelles voisines de 2 %. A la teneur en eau optimum Proctor modifié, les modules de ces échantillons étaient de l'ordre de 500 à 1000 bars.

Dans le mécanisme intime de ce durcissement, il n'y a pas de doute que les fines calcaires jouent un rôle important. Certains essais entrepris pour vérifier ce point [70] portent à croire qu'il se créerait des liaisons aux points de contact suite à des recristallisations lors de l'évaporation de l'eau de compactage. En compactant des éprouvettes à l'eau acidulée, nous avons obtenu des résistances en compression simple et des modules plus élevés que ceux des éprouvettes moulées avec de l'eau dont le pH était neutre, ce qui s'explique sans ambiguité par une plus grande dissolution et une recristallisation plus intense de la calcite. D'autres facteurs interviennent peut-être aussi pour accroître la cohésion des tufs aux faibles teneurs en eau. Cette question mérite d'être étudiée en laboratoire

avec des moyens moins grossiers que ceux qui ont été utilisés jusqu'à ce jour.

On doit se garder d'extrapoler le comportement de ces graves calcaires friables à des climats pluvieux. En effet, sous climat humide il n'est pas toujours possible de maintenir des teneurs en eau suffisament faibles sous la chaussée. D'autre part, la surface spécifique importante des tufs les rend aussi plus vulnérables au lessivage et on peut particulièrement redouter, à cet égard, l'action agressive des eaux météoriques chargées d'anhydride carbonique.

Pour une pluviométrie annuelle moyenne de 300 mm, les précipitations tombant sur 1 m^2 de chaussée pourraient dissoudre jusqu'à 132 g de calcite en dix ans. Dans le cas d'une pluviométrie de 800 mm, la quantité dissoute pourrait atteindre 352 g [52]. Ces chiffres sont théoriques et très faibles: le deuxième chiffre représente à peu près 0,1 % d'une couche de base d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Néanmoins, les dissolutions peuvent devenir notables lorsqu'il existe dans la chaussée des points préférentiels d'infiltration des eaux de pluie ou des endroits où, pour une raison quelconque, l'eau infiltrée serait retenue dans l'assise en tuf. Sachant aussi que la dissolution atteint surtout les particules les plus fines, on est en droit d'admettre son intervention dans la dégradation des chaussées en tuf.

Nous en avons observé deux exemples, la R. N. 6 au sud de Saida et la R. N. 1 au sud de Laghouat. Il s'agissait dans les deux cas, de couches de base en tuf pulvérulent, donc sans squelette. Cinq à dix ans après la construction de ces chaussées, sont apparues, en hiver, des zones poinçonnées par le trafic sur des sections soumises à des infiltrations et à des imbibitions. Ces dégradations, appelées parfois *gonflements*, sont en réalité des amorces de poches de dissolution. Dépouillés, par dissolution, de leur composante spécifique, les fines carbonatées, ces tufs sans squelette, n'ont pu résister plus longtemps au trafic lourd qui emprunte ces routes.

Outre les particularités de mise en oeuvre des assises en tuf que nous avons signalées au paragraphe 4.1., l'accent a été mis très tôt sur les mesures de protection de ces assises contre les infiltrations des eaux de pluie.

La premiére de ces mesures est l'imperméabilisation de la surface de la chaussée. Les couches de roulement en enduit d'usure sont légèrement surdosées. Leur renouvellement doit intervenir avant les dégradations. Les accotements en tuf sont à entretenir régulièrement contre leur dédérioration par les véhicules et contre l'érosion.

La deuxième mesure de protection vise à accéléerr le ruissellement et à empêcher la stagnation d'eau sur la chaussée. Pour celà, on porte la pente transversale de la surface de la chaussée à 3 % et celle des accotements à 4-5 %, en alignement droit.

Ces mesures étant prises lors de la construction, l'entretien jouera un rôle important pour combattre tout séjour prolongé d'eaux de pluie sur la chaussée et leur infiltration: colmatage de fissurations éventuelles, reflachage en cas de tassement et réparation des accotements pour que les eaux de pluie n'y stagnent pas, comme il arrive sur la section de la route de la fig. 31.

FIG. 31

Eaux stagnant au bord de la chaussée après un orage, en raison de la dégradation des accotements par le trafic et d'une contre-pente due à l'accumulation de rejets de gravillons et de sable éolien au centre de ces accotements

Signalons encore qu'il convient d'éviter les déblais et de placer les chaussées sur des remblais de quelques décimètres de haut en sol sableux. Cette disposition facilite le drainage et modifie favorablement la teneur en eau d'équilibre sous chaussée.

4.3. Performances des tufs de chaussée

Pour illustrer cet aperçu de la technique des tufs de chaussée, nous citerons quelques exemples pris en Algérie qui devraient permettre de se faire une idée des possibilités de ce matériau lorsqu'il est correctement choisi et mis en oeuvre.

Le premier exemple est celui de la couche de base de la R. N. 1 au sud de Ksar El Boukhari. Cette route supporte actuellement plus de 500 poids lourds par jour. A l'aide des comptages dont on dispose, on peut estimer que la chaussée de la R. N. 1 sur les Hauts Plateaux a été soumise, depuis sa construction (1958 à 1961) jusqu'à ce jour, à la sollicitation par 2 à 3 millions d'essieux de plus de 5 tonnes. On observe des signes de fatigue de la couche de base entre Boughzoul et Aïn Oussera et également au sud de Laghouat. Toutes les autres sections ont une très bonne tenue. Cette différence est en rapport avec les matériaux de chaussée. Les tufs à squelette, comme ceux d'Aïn Oussera et d'Aïn Mabed mis en place au rouleau à grille, présentent une bonne tenue. Des tufs friables et des tufs pulvérulents gypseux constituent les couches de base des tronçons où sont apparus des signes de fatigue ou des dégradations (faïençages, remontées de boue blanche).

Le deuxième exemple est celui de la chaussée traditionnelle d'Oranie dont nous avons déjà parlé en

introduction: épaisseur totale d'une trentaine de centimètres décomposée en macadam et couche de fondation en tuf au dessus de sols sableux (fig. 1). Sur la R. N. 4 près de Relizane, cette chaussée supporte actuellement plus de 4000 véhicules par jour, dont plus de 1000 poids lourds.

Jusqu'à ce jour, les chaussées en tuf n'ont eu à subir des renforcements que très exceptionnellement. Dans le cas de celui de la R. N. 40 que nous avons eu à suivre en 1966, la ruine de la chaussée était due à la multiplication des nids de poule, en l'absence de tout entretien. Dans les autres cas, il s'agissait de la fatigue de couches de base sans squelette et insuffisament carbonatées et du développement de poches de dissolution dans certaines assises dépourvues de squelette.

4.4. Chaussées économiques

J. TUTENUIT **[80]** a pu écrire en 1958 des tufs de chaussée qu'ils constituent *un matériau excellent, facile d'emploi, abondant, ne présentant aucune difficulté de choix ou de contrôle (notamment aucune sujétion de granulométrie n'est nécessaire, sauf si l'on recherche le rendement dans la mise en oeuvre et l'arrosage) et ne réservant aucune surprise à l'usage.* En effet, ils n'exigent que de l'eau comme stabilisant et, en les choisissant correctement, leur bonne tenue est assurée et leur longévité garantie.

FIG. 32

La route d'Aïn Skhouna, C. W. 21, wilaya de Tiaret, Algérie, construite en 1974

Par ailleurs, vu l'abondance des encroûtements calcaires et cette facilité de mise en oeuvre des assises en tuf, les chaussées en tuf peuvent être également considérées comme des chaussées économiques.

Pour souligner cet aspect, nous citerons un cas limite, le cas des routes construites sur les hamadas encroûtées des Hautes Plaines. La topographie de ces vastes plateaux est presque parfaitement platte et la couche de terre végétale, soumise à l'abalation éolienne, ne dépasse pas une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Le sol est assez perméable: perméabilité de fissures de la carapace. La pluviométrie reste inférieure à une hauteur moyenne annuelle de 300 mm et l'ensablement n'est pas à craindre.

La technique suivante a été utilisée sur des routes à faible trafic comme le chemin de wilaya 21, Tiaret, Algérie, desservant Aïn Skhouna sur la rive du Chott Ech Chergui (fig. 32). La terre végétale est décapée et mise en cordon latéralement, la carapace est ainsi mise à nu et légérement entaillée pour former les fossés. Du coup la structure de chaussée suivante est en place:

couche de base:	dalle compacte multicouche
couche de fondation:	croûte
sol de fondation:	grave ou sable d'encroûtement

Les épaisseurs et les rigidités sont comparables à celles des chaussées romaines.

Dans ces conditions, le seul problème qui se pose aux constructeurs de la route est celui du surfaçage. La solution de ce problème est aussi à portée de la main. Les irrégularités de surface de la dalle et ses éventuelles poches de sable pourront être rattrapées par un tuf à squelette ou un macadam recouvert d'un enduit d'usure, les gravillons étant obtenus par ramassage et concassage de la dalle.

La seule difficulté de cette technique réside dans le drainage des points bas du tracé. Les cordons de terre latéraux arrêtent les eaux qui proviendraient des surfaces à l'extérieur de la chaussées, mais, lors des orages, la chaussées peut recevoir assez de précipitations pour inonder certaines de ses sections. La mise hors d'eau de ces sections n'aurait exigé que quelques centimètres d'épaisseur de tuf de chaussée.

4.5. Les tufs de chaussée et les liants hydrauliques

Nous ne connaissons pas exactement la limite supérieure du trafic que peuvent supporter les tufs de chaussée, en particulier les tufs à squelette. Le niveau atteint par un trafic toujours croissant et la plus faible déformabilité des sols de fondation sous ce climat n'ont pas encore exigé de faire appel à des matériaux de couche de base plus performants en zone climatique III. Ici, la stabilisation aux liants hydrauliques ne s'impose pas encore pour les tufs de chaussée, sauf cas particuliers.

Toutefois, lorsque, à plus ou moins brève échéance, le niveau de trafic l'exigera, cette stabilisation ne sera pas sans précédent. En effet, A. VILLARET **[82, 83]** réalisa, en Algérie, en 1958 et 1959, des couches de base en tuf-ciment sur la R. N. 8 entre Sidi Aïssa et Aïn El Hadjel et sur le C. W. 77 qui relie Ksar Chellala à la R. N. 40. Il s'agissait, par un faible dosage de 2 à 3 % de ciment, de pallier aux irré gularités et imperfections des matériaux utilisés en

FIG. 33

C. W. 77, wilaya de Djelfa, Algérie, franchissement de la vallée de l'oued Ouerk: en arrière plan la crête du djebel Chelala. La formation tabulaire est la terrasse ancienne recouverte d'une puissante carapace. Des blocs de dalle sont mis en mis en tas sur le versant à gauche pour être utilisés dans les tombes du cimetière que l'on voit un peu plus bas

leur apportant un supplément de cohésion pour garantir une portance plus élevée.

Ces chaussées présentent une bonne tenue après presque vingt ans de service sous un trafic plus modéré que celui de la R. N. 1. La technique des tufs--liants hydrauliques est certainement une très bonne technique. Pourtant, les expériences de tuf-ciment de Médéa peuvent être critiquées lorsque l'on compare les matériaux utilisés, qui étaient des tufs friables ou pulvérulents assez médiocres, aux ressources en encroûtements d'âge moulouyen des régions traversées.

VILLARET avait déjà constaté en 1962, en comparant les déflexions du tuf-ciment du C. W. 77 à celles de tufs à squelette stabilisés à l'eau (emprunts d'Aïn Oussera, Hassi Bahbah et Aïn Mabed), que les premières étaient défavorables. Les caractéristiques du tuf du C. W. 77 sont indiquées sur la figure 10: sa courbe granulométrique indique une surface spécifique élevée. Dans ces conditions, 3 à 3,5 % de ciment ne pouvaient suppléer le squelette absent. Par contre, ce squelette aurait pu être obtenu sur place: il aurait suffit d'exploiter la carapace que l'on retrouve tout le long de cet itinéraire y compris à quelques centaines de mètres (fig. 21, 23 et 33) de l'emprunt qui a été fait sur l'encroûtement massif d'une surface relativement récente (fig. 14).

Sur la R. N. 8 le tuf utilisé a été extrait de la carapace ancienne, mais l'emprunt a été fait dans une zone lessivée (fig. 28), où la dalle est très friable et la limonitisation des concrétions calcaires bien visible.

Ces exemples nous permettent d'insister sur la nécessité d'une bonne prospection des ressources locales préalablement à la construction de toute chaussée en tuf.

Moyennant cela, de vastes perspectives s'ouvrent pour la stabilisation des tufs aux liants hydrauliques. En Tunisie, des tufs ont déjà été utilisés comme correcteurs de sables-laitiers. Les tufs-laitiers pourront s'imposer comme solution économique sur certains axes à trafic très élevé du plateau constantinois et sétifien. Dans d'autres régions, on pourrait assister à la mise en oeuvre de tufs stabilisés aux pouzzolanes et aux basaltes, roches douées de propriétés hydrauliques. D'après l'expérience d'Afrique du Sul la stabilisation à la chaux donnerait des résultats remarquables.

5. LES ENCROÛTEMENTS CALCAIRES ET LA CLASSIFICATION DES SOLS USCS

5.1. Nécessité d'une généralisation des classifications de sols routiers usuelles

La carte de l'Algérie septentrionale dressée par DURAND **[26]** permet d'estimer, pour ce pays, la superficie recouverte par les sols encroûtés. Si nous ne considérons que l'Algérie méditerranéenne, limitée grossièrement au Sud par la ligne de crêtes de l'Atlas Saharien, les encroûtements calcaires recouvrent environ le quart de sa superficie. Par ailleurs, les aires encroûtées sont situées sur des terrains à faible pente: plaines, glacis de piedmont et plateaux.

Du point de vue géotechnique, les sols encroûtés ont des caractéristiques très particulières que NETTERBERG **[64]** a très bien soulignées en Afrique du Sud: (1) présence d'une argile inhabituelle, l'attapulgite, et de calcite finement divisée ou en grains spongieux ou cimentant d'autres éléments; (2) relations très spéciales entre les limites d'Atterberg et faible gonflement linéaire pour des indices de plasticité relativement élevés; (3) propriété de durcir au séchage et autostabilisation par cristallisation de calcite à l'image du processus pédologique qui aboutit à la formation de véritables roches-filles, les carapaces calcaires, sous des conditions climatiques particulières. Tous ceux qui ont manipulé des sols encroûtés sont arrivés à une même conclusion sur le manque de signification conventionnelle des indices de plasticité de ces sols par rapport aux sols ordinaires.

Il apparait donc que, du point de vue théorique, la géotechnique routière ne doit pas faire abstraction des sols encroûtés en Afrique du Nord. Les classifications usuelles de sols routiers ne doivent pas être appliquées dogmatiquement ici. Il faut les compléter et les généraliser en tenant compte d'un nouveau paramètre, la teneur en carbonates, qui vient s'ajouter aux autres paramètres déjà utilisés dans les pays à climat tempéré, la granulométrie et l'indice de plasticité.

Du point de vue pratique, l'introduction d'une nouvelle classe de sols routiers de fondation est tout aussi justifiée, sinon plus. En effet, l'expérience montre que des chaussées modestement dimensionnées présentent des tenues à la fatigue anormalement bonnes sur des sols que l'on classerait comme des sables argileux, voire des limons ou des argiles peu plastiques, si on ne prenait pas en considération leur teneur en carbonates élévée. Nous citerons un exemple pris en Algérie.

La vieille chaussée de la R. N. 5 au sudest du Djurdjura a résisté à un trafic très important au delà de tout pronostique raisonnable. Ce n'était pas seulement une question d'adaptation progressive à un trafic à croissance continue et lente. Le secret de cette longévité a été dévoilé par les tranchés de déblai de la récent rectification (fig. 24): un sol en cours d'encroûtement.

5.2. La nouvelle classe des sols encroûtés

Si on veut l'appliquer sous les climats subhumides, semi-arides et désertiques du Maghreb, la classification des sols USCS doit être élargie par deux nouvelles classes de sols routiers.

Les *sables gypseux*, SY, que nous citons ici uniquement par souci d'être complet, sont des sables caractérisés par une teneur en gypse importante (supérieure à environ 30 %) sur leur fraction passant au tamis de 0,4 mm. En zone subhumide, ces sols peuvent donner lieu à des cavités et cavernes de dissolution. En zone semi-aride ils sont déjà plus stables. En zone désertique ils peuvent contenir aussi des proportions importantes de chlorures.

La classe des *sols encroûtés*, qui est beaucoup plus importante du point de vue extension et qui nous intéresse ici plus particulièrement, est caractérisée par une proportion élevée de carbonates dans la fraction inférieure à 0,4 mm.

Les *sables d'encroûtement*, SE, sont des sables présentant plus de 40 % de carbonates dans le passant au tamis de 0,4 mm. Les sables d'encroûtement recouvrent grosso modo les encroûtements massifs de la classification de RUELLAN.

Les *graves d'encroûtement*, GE, sont des graves présentant plus de 60 % de carbonates dans la fraction granulométrique qui passe au tamis de 0,4 mm. Les graves d'encroûtement correspondent grossièrement aux encroûtements nodulaires et aux encroûtements feuilletés de la classification de RUELLAN.

Les sols d'encroûtement, aux propriétés géotechniques très particulières, n'existent pas sous des climats humides, où la calcite est aisément lessivée des sols.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **J. P. Adolphe**, 1972, *Obtention d'encroûtements carbonatés par gel expérimental*, C. R. Ac. Sci. Paris, D, 274/8, 1139-1142.

[2] **J. P. Adolphe**, 1975, *Rôle des microorganismes dans les concrétionnements calcaires continentaux*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 71-76.

[3] **L. F. Aristarain**, 1970, *Chemical analyses of caliche profiles from the high plains, New Mexico*, J. Geol., 78/2, 201-212.

[4] **L. F. Aristarain**, 1971, *Clay minerals in caliche deposits of eastern New Mexico*, J. Geol., 79/1, 75-90.

[5] **L. F. Aristarain**, 1971, *On the definition of caliche deposits*, Z. Geomorphologie, 15/3, 274-289.

[6] **G. Aubert, J. Boulaine**, 1967, *La pédologie*, Que sais-je?, N.º 352, 1-128.

[7] **H. R. Blank, E. W. Tynes**, 1965, *Formation of caliche in situ*, Geol. Soc. Am. Bull., 76/12, 1387-1392.

[8] **J. Boulaine**, 1957, *Etude des sols des plaines du Chélif*, Thèse Fac. Sci. Alger, 1-582.

[9] **J. Boulaine**, 1958, *Sur la formation des carapaces calcaires: accumulation de carbonates et de sulfates dans les sols bien drainés*, Publ. Serv. Carte Géol. Algérie (nouvelle série), Bull. N.º 20, 7-9.

[10] **J. Boulaine**, 1961, *Observations sur les carapaces du piedmont saharien*, Trav. Inst. Rech. Sahariennes Univ. Alger, XX, 79-90.

[11] **J. Boulaine**, 1976, *Géographie des sols*, P. U. F., Paris, 1-200.

[12] **J. H. Bretz, L. Horberg**, 1949, *Caliche in southeastern New Mexico*, J. Geol., 57/5, 491-511.

[13] **H. Capeille**, 1957, *Construction de chaussées avec les tufs des Hauts Plateaux du Sud Oranais: R. N. 6 de Bouktoub à Aïn Segra*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC Alger, N.º 1, 37-39.

[14] **Randolph W. Chapman**, 1974, *Calcareous duricrust in Al-Hasa, Saudi Arabia*, Geol. Soc. Am. Bull, 85/1, 119-130.

[15] **Georges Choubert**, 1948, *Au sujet des croûtes calcaires quaternaires*, C. R. Ac. Sci., Paris 226/ /20, 1630-1631.

[16] **P. Clos**, 1959, *Routes au Maroc*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC, Alger, N.º 11.

[17] **Georges Conrad**, 1971, *Synthèse de l'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien (Sahara, Erg Chech, Tanezrouft, Ahnet-Mouydir)*, Publ. Serv. Géol. Algérie (nouvelle série), Bull. N.º 41, 143-159.

[18] **R. Coque**, 1962, *La Tunisie présaharienne*, Paris, 1-476.

[19] **A. Cornet**, 1949, *Les niveaux lacustres du Tertiaire continental au sud du Chott Ech Chergui (Algérie)*, C. R. somm. Soc. Géol. Fr., N.º 3, 78-80.

[20] **M. Dalloni**, 1953, *Sur la genèse et l'âge des «terrains à croûte» nord-africains*, Colloque Int. C. N. R. S. Alger, 237-260.

[21] **E. T. Degens, E. Rutte**, 1960, *Geochemische Untersuchungen eines Kalkkrustenprofils von Altkorinth-Griechenland*, Neues Jbb. Geol. Paläont., Monatshefte, 6, 263-276.

[22] **Jean Dubief**, 1963, *Le climat du Sahara*, tome II, fascicule I, troisième partie — L'eau atmosphérique du Sahara, chap. premier — Les précipitations, Mémoire (hors série), Univ. Alger, 1-275.

[23] **J. Ducoussot**, 1960, *La route Mecheria à El Aricha*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC Alger, N.º 10, 65-72.

[24] **J. Ducoussot, H. Capeille**, 1958, *La R. N. 6 d'Cran à Colomb-Bechar: construction de la section de Bouktoub à Bechar*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC Alger, N.º spécial sur les Travaux Routiers au Sahara, 19-26.

[25] **B. Dumas**, 1975, *Croûtes calcaires et conditions de milieu dans le sud du Levant espagnol*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 99-104 .

[26] **J. H. Durand**, 1959, *Les sols rouges et les croûtes en Algérie*, S. E. S., Alger, 1-188.

[27] **J. H. Durand**, 1963, *Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie: formation et âge*, Bull. Soc. Géol. Fr., V (7), 959-968.

[28] **J. H. Durand**, 1975, *Les croûtes calcaires en Algérie*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 129--133.

[29] **Pierre Dutil**, 1971, *Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara*, Thèse Fac. Sci. Univ. Strasbourg, C. N. R. S., A. O. 6.094, 1-346.

[30] **Pierre Estorges**, 1958, *Morphologie du plateau Arbaa*, Trav. Inst. Rech. Sahariennes Univ. Alger, XVIII, 21-56 et XX, 29-77.

[31] **Jacques Flandrin, Marcel Gautier, Robert Laffite**, 1958, *Sur la formation de la croûte calcaire superficielle en Algérie*, C. R. Ac. Sci., Paris, 226/ /5, 416-418.

[32] **L. R. Gardner**, 1972, *Origin of the Mormon Mesa caliche, Clark County, Nevada*, Geol. Soc. Am. Bull., 83/1, 143-155.

[33] **Gilbert Gaucher**, 1948, *Sur certains caractères des croûtes calcaires en rapport avec leur origine*, C. R. Ac. Sci. Paris, 227/2, 154-156.

[34] **Gilbert Gaucher**, 1947, *Les sols rubéfiés et les sols à croûte du Bas-Chélif et des Basses Plaines Oranaises (Régions d'Inkermann, de Relizane, de Perrégaux et de Saint-Denis du Sig)*, C. R. Ac. Sci. Paris, 225/2, 133-135.

[35] **Gilbert Gaucher**, 1948, *Sur quelques conditions de formation des croûtes calcaires*, C. R. Ac. Sci. Paris, 227/3, 215-217.

[36] **Gilbert Gaucher, Théa Vogt-di Poppa**, 1976, *La géochimie n'explique pas tout*, La Recherche, 7/70, 794.

[37] **Bernard Gèze, 1972**, *La pédologie*, Encycl. Pléiade, Géologie I, 807-885.

[38] **L. H. Gile**, 1961, *A classification of Ca horizons in soils of a desert region, Dona Ana County, New Mexico*, Soil Sci, Soc. Am. Proc., 25/1, 52-61.

[39] **L. H. Gile, F. F. Peterson, R. B. Grossman**, 1965, *The K horizon: a master soil horizon of carbonate accumulation*, Soil Sci., 99/2, 74-82.

[40] **H. S. Gillette**, 1934, *Soil tests useful in determining quality of caliche, Public Roads*, 15/10, 237-242.

[41] **A. Goudie**, 1972, *The chemistry of world calcrete deposits, J. Geol.*, 80/4, 449-463.

[42] **A. Goudie**, 1972, *On the definition of calcrete deposits*, Z. Geomorphologie, 16/4, 464-468.

[43] **A. S. Goudie**, 1975, *Petrographic characteristics of calcretes (caliches): modern analogous of ancient cornstones*, *Colloque Strasbourg*, 9-11.1.1975, 3-6.

[44] **René Guiraud**, 1968, *Le Plio-Quaternaire du Bassin du Hodna (Algérie du Nord)*, C. R. Ac. Sci. Paris, 267/6, 561-564.

[45] **A. Hamrouni**, 1975, *Routes économiques, routes à faible circulation*, Rev. Tunisienne de l'Equipement, 4/14, 5-31.

[46] **J. C. de O. S. Horta**, 1966, *R. N. 40: rechargement entre les PK 70 et 100*, Lab. Ponts et Chaussées Alger, Rapport N.º 2708.

[47] **J. C. de O. S. Horta**, 1970, *R. N. 6 à Saïda: auscultation de la chaussée, PK 116 à 176*, L. N. T. P. B., Alger, Rapport N.º R31C62.

[48] **J. C. de O. S. Horta**, 1970, Hassi Er Rmel: *réseau routier SONATRACH*, L. N. T. P. B., Alger, Rapport N.º R31C45/2.

[49] **Noel P. James**, 1972, *Holocene and pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: criteria for subaerial exposure*, J. Sedim. Petrol., 42/4, 817--836.

[50] **Brahim Lounis**, 1973, *Analyses d'échantillons de tuf pour la confection de la couche de base du C. W. 163*, Rapport N.º 1CW/73 Lab. Ponts Chaussées Médéa.

[51] **F. Menillet**, 1975, *Niveau calcaires finement rubanés en milieu continental, hydromorphe et confiné à paléogéographie simple: l'exemple du calcaire de Beauce (Stampien sup. — Aquitanien du bassin de Paris)*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 18-21.

[52] **John P. Miller**, 1952, *A portion of the system calcium carbonate — carbon dioxide — water, with geological implications*, Am. J. Sci., 250/3, 161-203.

[53] **G. Millot, G. Bocquier, H. Paquet**, 1976, *Géochimie et paysages tropicaux*, La Recherche, N.º 65, 236-244.

[54] **G. Millot, H. Paquet, A. Ruellan**, 1969, *Néoformation d'attapulgite dans les sols à carapaces calcaires de la basse Moulouya (Maroc Oriental)*, C. R. Ac. Sci. Paris, D268/23, 2771-2774.

[55] **F. Moseley**, 1965, *Plateau calcrete, calcreted gravels, cemented dunes and related deposits of the Maalegh-Bomba region of Lybia*, Z. Geomorphol., 9/2, 167-185.

[56] **M. J. Mountain**, 1967, *Pedogenic materials, their engineering properties and distribution in South Africa*, Fourth Regional Conf. for Africa on Soil Mech. and Found. Eng., Cape Town, Proc. Vol. 1, 65-70.

[57] **H. G. Multer, J. E. Hoffmeister**, 1968, *Subaerial laminated crusts of the Florida Keys*, Geol. Soc. Am. Bull., 79/2, 183-192.

[58] **D. Nahon, H. Paquet, A. Ruellan, G. Millot**, 1975, *Encroûtements calcaires dans les altérations des marnes éocènes de la falaise de Thiès (Sénégal): organisation morphologique et minéralogique*, Sci. Géol., Bull. Univ. Strasbourg, 28/1, 29-46.

[59] **D. Nahon, A. Ruellan**, 1972, *Encroûtements calcaires et cuirasses ferrugineuses dans l'Ouest du Sénégal et de la Mauritanie*, C. R. Ac. Sci. Paris, D274/4, 509-512.

[60] **D. Nahon, A. Ruellan**, 1975, *Les accumulations de calcaire sur les marnes éocènes de la falaise de Thiès (Sénégal). Mise en évidence des phénomènes d'épigénie*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 7-11.

[61] **F. Netterberg**, 1967, *Some roadmaking properties of south african calcretes*, Fourth Regional Conf. for Africa on Soil Mech. and Found. Eng., Cape Town, Proc. Vol. 1, 77-81.

[62] **F. Netterberg**, 1969, *Ages of calcretes in Southern Africa*, South Afr. Archaeol. Bull., 24/3-4, 88-92.

[63] **F. Netterberg** 1969, *The interpretation of some basic calcrete types*, South Afr. Archaeol. Bull., 24/3-4, 117-122.

[64] **F. Netterberg**, 1971, *Calcrete in road construction*, Pretoria, CSIR Res. Rep. 286, NIRR Bull. 10, 1-73.

[65] **J. Perelle**, 1972, *Bretelle de la R. N. 23 (Hassi Moudjehaf) à la station de pompage N.º 6: recherche de matériaux pour couche de base*, L. N. T. P. B., Oran, Rapport N.º CR/273.

[66] **A. Ponton**, 1959, *Reconstruction de la R. N. 1 à la traversée des Hauts Plateaux (Boughzoul) — Rochter de Sel)*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC Alger, N.º 8, 42-43.

[67] **A. Ponton**, 1959, *Construction de la R. N. 46 entre Bou-Saada et Biskra*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC Alger, N.º 8, 44-49.

[68] **A. Ponton**, 1961, *La reconstruction de la R. N. 1 de Médéa à Laghouat*, Construction, XVI/4, 233 (81)-241 (89).

[69] **J. J. G. Punch, F. West**, 1955, *Routes économiques en Australie*, Rapp. Xème Congrès Int. de la Route, Istambul.

[70] **El Hadi Rahal**, 1967, *Compte rendu d'essais de compression simple sur gypse et sur calcaire friable en vue d'étudier le phénomène dit de prise du «tuf»*, Rapport de stage, Lab. Ponts et Chaussées, Alger.

[71] **R. Raynal, Y. Dewolf, F. Joly**, 1975, *Répartition géographique des types de croûtes calcaires en Afrique du Nord*, Colloque Strasbourg, 9-11. 1.1975, 139-145.

[72] **C. C. Reeves Jr.**, 1970, *Origin, classification, and geological history of caliche on the southern high plains, Texas and eastern New Mexico*, J. Geol., 78/3, 352-362.

[73] **C. C. Reeves Jr.**, 1975, *Calcrete (caliche): its origin, morphology and developmental history*, in Rocky Mountain energy resources discovery and development: 24th. Annual meeting am. ass. petroleum geol.; 6th. Annual meeting soc. econ. paleontol. mineral., Albuquerque, New Mex.

[74] **F. Richardot, C. Rousset**, 1975, *Les croûtes calcaires et limons encroûtés de l'île d'Ibiza, Baleares, Espagne*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 88-91.

[75] **A. Ruellan**, 1967, *Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc*, Cahiers ORSTOM, série Pédol., V/4, 421-462.

[76] **A. Ruellan**, 1970, *Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental)*, Thèse Fac. Sci. Univ. Strasbourg, C. N. R. S. N.º A. O. 4086.

[77] **E. Rutte**, 1958, *Kalkkrusten in Spanien*, Neues Jb. Geol. Pal., Abh., B106, 52-136.

[78] **William G. Siesser**, 1973, *Diagenetically formed ooids and intraclasts in south african calcretes*, Sedimentology, 20/4, 539-551.

[79] **G. Truc**, 1975, *Sols à profil calcaire différencié et pellicules rubanées dans le paléogène du sud-est de la France*, Colloque Strasbourg, 9-11. 1.1975, 108-113.

[80] **J. Tutenuit**, 1958, *Les tufs d'Oranie*, Bull. Doc. Techn. Routière LCPC, N.º 4, 35-37.

[81] **J. Vaudour**, 1975, *Encroûtements, croûtes et carapaces calcaires dans la région de Madrid*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 104-108.

[82] **A. Villaret**, 1959, *La stabilisation aux liants hydrauliques en Algérie et au Sahara*, Paris, Cycle d'Etudes Routières.

[83] **A. Villaret**, 1962, *Les déflexions des chaussées en tuf. — Essais de traitement au ciment*, Ponts et Chaussées de Médéa, Rapport inédit.

[84] **Ludovic Ville**, 1852, *Recherches sur les eaux et les gîtes minéraux des provinces d'Oran et d'Alger*, Paris, 1-423.

[85] **T. Vogt**, 1975, *Types de croûtes calcaires en France méditerranéenne d'après étude micrographique*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 30-34.

[86] **T. Vogt et al.**, 1975, Colloque «*Types de croûtes calcaires et leur répartition régionale*», Strasbourg, Univ. Louis Pasteur, 9-11.1.1975, 1-46.

[87] **Théa Vogt, Robert Marocke**, 1973, *Les encroûtements calcaires de la Hardt (Haute-Alsace): gegèse et évolution*, Sci. Géol., Bull. Univ. Strasbourg, 26/4, 305-313.

[88] **J. Wilbert**, 1962, *Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc*, El Awamia, Rabat, N.º 3, 175-192.

[89] **George E. Williams**, 1970, *Piedmont sedimentation and late Quaternary chronology in the Biskra region of the northern Sahara*, Z. Geomorphol., Supplementband 10, 40-63.

[90] **D. H. Yaalon**, 1975, *Some data on the nature and origin of nari (calcrete) on chalk in Israel*, Colloque Strasbourg, 0-11.1.1975, 12-13.

[91] **R. A. van Zuidam**, 1975, *Calcrete. A review of concepts and an attempt to a new genetic classification*, Colloque Strasbourg, 9-11.1.1975, 92-98.

Este trabalho encontra-se aberto para discussão até 31 de Janeiro de 1981.

La teledistribution par câble

J. A. SCHWARZ DA SILVA
Ministere des Communications
Ottawa, Ontário, Canadá

RESUMO

Este artigo trata das redes de teledistribuição por cabo nos seus apectos técnicos e no que diz respeito a perspectivas futuras. A um breve panorama da teledistribuição no mundo, segue-se uma exposição das transformações técnicas em curso que irão contribuir para um desenvolvimento acelerado neste campo. São examinadas algumas redes experimentais, e faz-se uma classificação quanto ao tipo de serviços que estas redes vão oferecer. São por fim tratados os serviços que parecem estar em vias de aceitação.

ABSTRACT

Cable Teledistribution networks is the subject of this paper, both in which concerns technical aspects and trends and future perspectives. A view of cable networks in the worll is taken, followed by an aprisal of technical evolutions related with cable networks. Some experimental networks are described and an application-type classification tried.

Applications which are considered with increasing acceptance are also treated.

1 — INTRODUCTION

L'un des éléments majeurs de la révolution des communications dans laquelle nous, en Amérique du Nord, sommes immergés est sans doute la télédistribution par câble ou, plus familièrement, le **câble**. Cet article examine les réseaux de télédistribution par câble tant par leurs aspects techniques que par leur évolution et perspectives d'avenir. Un bref aperçu de la télédistribution dans le monde sera suivi d'un exposé des transformations techniques em cours de développement qui vont le plus contribuer à une croissance accélérée de la télédistribution par câble. Quelques réseaux expérimentaux parmi les plus représentatifs de l'état actuel de la technologie de la télédistribution sont examinés. Les types de services que ces réseaux vont être appelés à offrir font l'object d'une classification. Enfin, sont dégagés, parmi les services possibles, ceux qui semblent être en voie d'acceptation..

2 — HISTORIQUE ET EVOLUTION

Vers la fin des années quarante (1948) la diffusion de la télévision était loin de resembler à ce que nous connaissons aujourd'hui. On peut affirmer que la situation du vidéophone aujourd'hui est comparable à celle de la télévision dans les années quarante. Peu de récepteurs de télévision receivaient un signal acceptable. Pour palier à une réception déficiente, on vit apparaître sur les toits des maisons des forêtes d'antennes. Malgré cela, d'autres problèmes subsistaient: le coût des antennes était fort élevé, le nombre de canaux qu'elles pouvaient capter était très réduit et l'interférence em cas de mauvais temps était toujours présente. Pourtant ces problèmes n'empêchèrent pas le développement rapide des systèmes de télévision à antenne communautaire. Ces systèmes, développés em Oregon et en Pennsylvanie appliquaient à une communauté l'idée déjà utilisée pour des hôtels et blocs d'appartements voire la retransmission sur un réseau de câbles, des signaux captés par une antenne collective bien située. On voit ainsi apparaître surtout en milieu rural et souvent loin des centres émetteurs, des réseaux de télédistribution à antenne communautaire.

En 1952, on comptait aux Etats-Unis 70 systèms desservant 14,000 abonnés. Anjourd'hui, à peine 20 plus tard, on y compte de 3000 systèmes desservant 7.5 millions d'abonnés, ce qui représente presque 12% du nombre total des foyers. Au Canada * 41% du total des foyers sont actuellement desservis par la télévision par câble (Tableau I). Parce que les réseaux de télédistribution au Canada se sont d'abord implantés dans

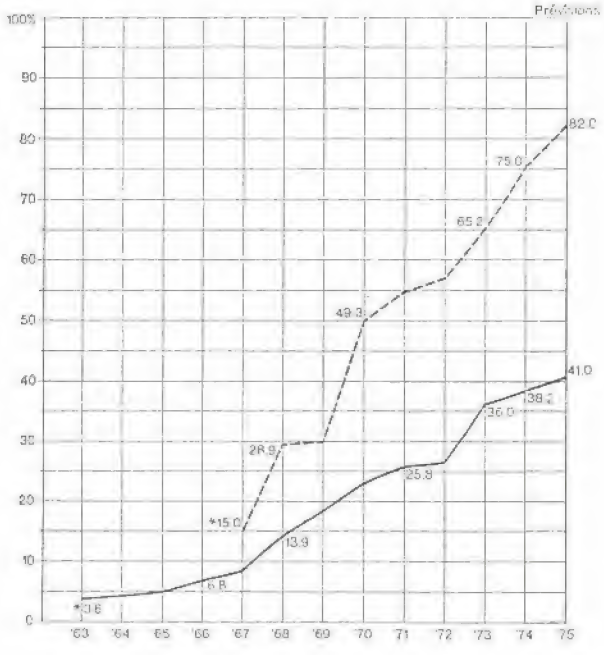
* Chiffres fournis par le Conseil de la Radio-Télévision Canadienne.

Manuscrito recebido para publicação em 10/10/77.

les zones à forte densité de population, à l'opposé des Etats-Unis où ils se sont d'abord développés en milieu rural, parmi les huit plus grands réseaux (en nombre d'abonnées) au monde, sept sont des réseaux canadiens. Ces sept à eux seuls desservent plus de 556,000 abonnés. Le taux de pénétration atteint par ces réseaux est extrêmement élevé, allant jusqu'à 92% dans le cas de Victoria (C. B.).

DEVELOPPEMENT — TELEVISION PAR CABLE AU CANADA

QUADRO I



—— Pourcentage de foyers desservis par la television par cable par rapport au total national.

---- Pourcentage de foyers pouvant recevoir le service de television par cable par rapport au total national.

* Pas de données précises pour les années précédentes.

Ailleurs qu'en Amérique du Nord, la télédistribution par câble connait une évolution rapide, en particulier en Europe occidentale et au Japon.

En Europe occidentale, les réseaux de télédistribution desservaient en 1971 près de 6.5 millions de foyers, ce qui correspond à 10% du total des foyers disposant d'un récepteur de télévision. Souvent ces ***réseaux de télédistribution*** se limitent à des systèmes à antenne collective desservant un immeuble ou un groupe de maisons unifamiliales. Les principales raisons de l'implantation des réseaux de télédistribution en Europe sont:

— l'amélioration de la réception des signaux de TV et FM;

— l'acroissement et la diversité du nombre de programmes locaux et étrangers;

— la rédution des forêts d'antennes;

— l'unification des normes des programmes distribués.

Parmi les pays européens, la Belgique, par son relief et sa situation géographique, est un lieu favorable au développement de la télédistribution. Le seuil de rentabilité d'un réseaux en exploitation dans ce pays étant de l'ordre de 3000 abonnés, les télédistributeurs ont cherché à exploiter des réseaux dans des zones à forte densité de population.

L'essor de la télédistribution en Belgique est aussi dû à une multitude d'iniciatives d'origine communale, intercommunale publique, mixte (par participation de capitaux publiques à des sociètes privées) ou même entièrement privée. Environ 450,000 personnes sont aujourd'hui raccordées à un réseaux.

La France fait montre d'un certain retard dans le domaine de la télédistribution probablement parce que l'état français possède le monopole des télécommunications et de la télévision. Des études de marché et d'ingénierie sont en cours dans 7 villes pilotes. Seule la ville de Grenoble diffuse régulièrement deux jours de programmes tous les quinze jours sur le réseau local.

Au Royaume-Uni, la naissance du premier système de télédistribution par câble eut lieu en 1951. Vingt ans plus tard on compte plus de 2,800 systèmes desservant une population évaluée à 1,840,000 abonnées ce qui représente tout près de 11% du parc de téléviseurs de ce pays. La distribution des programmes de télévision s'est faite par extrapolation des techniques employées pour la distribution radiophonique.

Ailleurs en Europe, en particulier dans les patits pays multi-lingues, la télédistribution par câble se développe à un rythme accéléré. Ainsi dans certaines régions de la Suisse, les abonnées peuvent capter des programmes en provenance de la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Autriche et le Luxembourg.

Unes des raisons pour laquelle les réseaux de télédistribution par câble se sont développés au cours des dernières années provient du fait que l'avènement de la couleur, en particulier des systèmes SECAM (France) et PAL (Allemagne), a créé un problème de normalisation des signaux.

Avec les réseaux de télédistribution la conversion d'une norme à l'autre peut se faire à la station centrale du réseau, ce qui permet à l'abonné d'acheter un téléviseur plus simple, donc moins coûteux.

Il ne faudrait pas ignorer dans ce bref aperçu de la télédistribution dans le monde, un des pays, le Japon,

où l'implantation de la télédistribution, bien que tardive (1968), s'accroit considérablement de jour en jour.

On compte aujourd'hui au Japon tout près de 10,000 systèmes desservant 1 million d'abonnés, ce qui représent 4% du parc total des téléviseurs. Presque la totalité de ces systèmes, dont le nombre moyen d'abonnés se situe autour de 100, se limite à retransmettre des programmes captés dans les airs.

3 — STRUCTURE DU RESEAU

Un réseau de télédistribution se compose essentiellement de quatre parties: 1. la station de réception responsable de la collecte des signaux dans les bandes VHF et UHF provenant d'émetteurs terrestres, ou de faisceaux hertziens dans la bande 12 GHz provenant d'autres réseaux; 2. la tête de câble d'où les programmes sont émis vers les abonnés; 3. le réseau principal desservant la zone de réception; 4. le réseau de distribution aux abonnés.

La station de réception normalement située sur une colline ou tout autre point élevé est dotée d'une ou plusieurs antennes montées sur des tours atteignant 600 pieds hauteur. En général on utilise plusieurs types d'antennes: *Yagi*, captant un seul canal de télévision à la fois; *logperiodic*, capable de capter plusieurs canaux de télévision simultanément; *UHF Yagi*, de plus petite taille que celles du type Yagi, recevant des émissions dans la band UHF, etc.

La tête de câble, aussi appellée station centrale, responsable du traitement des signaux et de leur diffusion vers les abonnés, se trouve généralement au centre géographique de la zone desservie. La liaison entre la station de réception et la station centrale se fait soit par un câble coaxial à très haute perfomance lorsque la distance entre ces deux stations est faible ou moyenne, soit par un petit faisceau hertzien lorsque cette distance est considérable ou que la topographie de la région est montagneuse. La station centrale constitue sans doute le coeur du réseau car là sont traités les signaux en provenance de la station de réception et ceux provenant de sources de production locale telles que caméras vidéo, magnétoscopes ou télécinémas.

Une fois que les signaux entrent dans le réseau ils empruntent trois types de lignes avant d'être livrés à l'abonné: les lignes de transfert qui partent de la tête de câble et qui n'ont qu'une fonction de transport; les lignes de distribution assurant la deuxième phase de la distribution et les lignes de raccordement qui aboutissent à la prise murale chez l'abonné.

Les caractéristiques des différents types de câble coaxiaux utilisés dans un réseau sont que la bande passante utilisable atteint 1000 MHz, ce qui correspond à plus de 160 canaux de télévision (6 MHz par canal). Ce qui limite le nombre total de canaux de télévision sur un câble coaxial n'est donc pas le câble lui-même mais plutôt la présente génération d'amplificateurs dont la bande passante s'étend jusqu'à 300 MHz ou 50 canaux de télévision. En pratique, le nombre maximum de canaux de télévision sur un câble est limité à 30 à cause de problèmes d'ordre technique. Deux bandes de fréquences de 54 à 88HMz et de 174 à 216 MHz sont présentement allouées à la transmission de canaux, ce qui correspond à un total de 12 canaux (voir Tableau II). On remarque que la bande de fréquences inférieures à 54 MHz de même que la bande moyenne de 108 à 174 MHz ne sont pas utilisées pour transmettre des signaux de télévision mais sont plutôt réservées pour des services mobiles en ondes courtes ou des services aéronautiques.

4 — NOMBRE DE CANAUX

Bien que 12 canaux de télévision soit un nombre déja assez considérable, l'engouement public est de plus en plus vif. Em supplément des programmes habituels, la télédistribution peut apporter à domicile des images produites dans le réseau lui-même ce qui signifie que plus de 12 canaux sont nécessaires. Ainsi aux Etats-Unis les nouveaux règlements émis par le FCC (Federal Communications Comission) exigent um minimum de 20 canaux pour tout nouveau système et dans certains cas, on envisage l'utilisation de 40 canaux. Le problème de l'allocations des fréquences pour ces différents canaux devient alors extrêmement important. Comme la plupart des réseaux existants ont été conçus pour transporter 12 canaux en plus de la bande FM, la solution serait donc de porter le nombre total de canaux à 21 en utilisant les 9 canaux compris entre 120 et 174 MHz. Si cette approche est utilisée, il faut fournir à chaque abonné un appareil connu sous le nom de convertisseur (voir Figure 1) que transpose les canaux suplémentaires dans une bande normalisée que son téléviseur peut capter. La

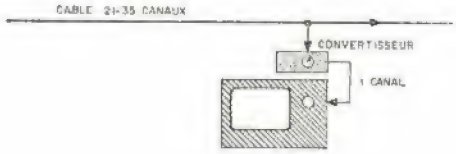


FIG. 1

capacité total du réseau pourrait être portée à 34 canaux, compte tenu, des 13 canaux compris entre 216 et 295 MHz (voir Tableau II). Les 7 canaux de la bande inferieure (5.75 à 47.75 MHz) sont normalement réservés comme voies de retour dans les réseaux bi-directionels.

Un des avantages des convertisseurs réside dans le fait que l'interférence, avec d'autres canaux que le récepteur pourrait acpter dans les airs, est éliminée, car la conversion se fait toujours vers un canal non existant dans la région desservie par le réseau. Cependant, les convertisseurs peuvent contribuer à une détérioration de l'image. De plus, il arrive que la fréquence de l'oscillateur local ou convertisseur dérive en fonction du temps ou de la température ce qui se traduit par une conversion inefficace du canal désiré. Tous ces problèmes peuvent

QUADRO II

CANAL	LARGEUR DE BANDE	PORTEUSE D'IMAGE	PORTEUSE DE COULEUR	PORTEUSE DE SON	CANAL	LARGEUR DE BANDE	PORTEUSE D'IMAGE	PORTEUSE DE COULEUR	PORTEUSE DE SON
T7	5.75-11.75	7.0	10.58	11.5	H	162.0-168.0	163.25	166.83	167.75
T8	11.75-17.75	13.0	16.58	17.5	I	168.0-174.0	169.25	172.83	173.75
T9	17.75-23.75	19.0	22.58	23.5	7	174.0-180.0	175.25	178.83	179.75
T10	23.75.29.75	25.0	28.58	29.5	8	180.0-186.0	181.25	184.83	185.75
T11	29.75-41.75	31.0	34.58	35.5	9	186.0-192.0	187.25	190.83	191.75
T12	35.75-41.75	37.0	40.58	41.5	10	192.0-198.0	193.25	196.83	197.75
T13	41.75-47.75	43.0	46.58	47.5	11	198.0-204.0	199.25	202.83	203.75
2	54.0-60.0	55.25	58.83	59.75	12	204.0-210.0	205.25	208.83	209.75
3	66.0-72.0	61.24	64.83	65.75	13	210.0-216.0	211.25	214.83	215.75
4	60.0-66.0	67.25	70.83	71.75	J	216.0-222.0	217.25	220.83	221.75
5	76.0-82.0	77.25	80.83	81.75	K	222.0-228.0	223.25	226.83	227.75
6	82.0-88.0	83.25	86.83	87.75	L	228.0-228.0	229.25	232.83	233.75
f-m	88.0-108.0	—	—	—	M	234.0-240.0	235.25	238.83	239.75
A	120.0-126.0	121.25	124.83	125.75	N	240.0-246.0	241.25	244.83	245.75
B	126.0-132.0	127.25	130.83	131.75	O	246.0-252.0	247.25	250.83	251.75
C	132.01138.0	133.25	136.83	137.75	P	252.0-258.0	253.25	256.83	257.75
D	138.0-144.0	139.25	142.83	143.75	Q	258.0-264.0	259.25	262.83	263.75
E	144.0-150.0	145.25	148.83	149.75	R	264.0-270.0	265.25	268.83	269.75
F	150.0-156.0	151.25	154.83	155.75	S	271.0-277.0	272.25	275.83	276.75
G	156.0-162.0	157.25	160.83	161.75	T	277.0-283.0	278.25	281.83	282.75
					U	283.0-289.0	284.25	287.83	288.75
					V	289.0-295.0	290.25	293.83	294.75

être techniquement résolus au prix d'un coût majoré des convertisseurs dont le prix actuel varie entre $35 et $40.

Une autre solution possible au problème de l'augmentation du nombre de canaux est d'utiliser au lieu d'un seul câble coaxial, deux ou plusieurs de ces câbles (voir Figure 2). L'abonné dispose alors d'un commutateur à deux positions ce qui lui permet de choisir l'un des deux câbles. Avec deux câbles, l'abonné dispose en principe de 24 canaux à condition que les signaux locaux n'interfèrent pas avec ceux qui existent sur les câbles. Un réseaux à deux câbles a le désavantage de coûter plus cher que le réseau avec convertisseur, mais d'un autre côté son opération est plus simple et plus fiable. Le potentiel d'un réseau à deux câbles est aussi supérieur à long terme à celui d'un réseau à un câble.

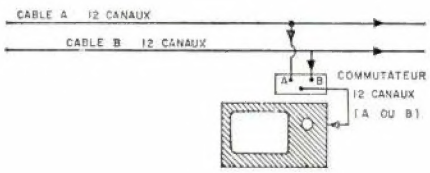


FIG. 2

5 — UNE VOIE DE RETOUR

Comme on l'a mentionné précédemment, la bande de fréquences connue sous le nom de bande inférieure (jusqu'à 54 MHz) est réservée aux communications provenant des abonnés et normalement destinées à la station centrale du réseau. On peut envisager l'utilisation de cette bande de fréquences pour transporter soit des signaux vidéo, soit des signaux numériques. Des signaux vidéo en provenance d'une école pourraient par exemple, être diffusés vers tous les abonnés du réseau ou vers d'autres écoles. Bien que l'éventail de services vidéo possibles sur un réseau bi-directionnel soit immense, il reste néanmoins que la plupart des services dont un usager aurait besoin ne requièrent pas une largeur de bande vidéo mais plutôt une largeur de bande audio. On s'attend en effect à ce que l'abonné transmette des messages du type suivant:

— réponses à des questions posés par un ordinateur dans le cadre d'un programme éducatif;

— commandes placées par l'abonné pour des articles annoncés sur un des canaux;

— réponces à des enquêtes;

— réservations de places et achat de billets.

Tous ces messages se caractérisent par le fait qu'ils peuvent être codés en des signaux numériques qu'un ordinateur peut rapidement traiter. Ainsi on peut convertir un réseau de télédistribution en un réseau de données, où à chaque abonné serait attribué un numéro de code. A des intervalles réguliers et préétablis, l'ordinateur interrogerait chaque terminal du réseau, en utilisant un canal spécial, et les messages enregistrés seraient transmis vers le magasin, l'agence de voyages, par la voie de l'ordinateur de la station centrale.

Deux méthodes principales peuvent être utilisées pour convertir un réseau unidirectionnel en un réseau à voie de retour:

1) — les signaux vers l'abonné et en provenance de ceclui-ci son transmis sur le même câble coaxial;

2) — deux câbles physiquement séparés, un pour chaque direction, sont utilisés.

Cette dernière méthode bien que plus simple au point de vue technique est plus coûteuse. L'utilisation d'un même câble coaxial pour la transmission de signaux dans les deux sens exige que ces signaux soient séparés en fréquence pour éviter des interférences nuisibles. Tel qu'indiqué précédemment la bande inférieure est utilisée pour des transmissions vers la station centrale et la bande de fréquences au delà de 54 MHz, pour la transmission vers les abonnés. Pour que cette méthode puisse être appliquée il suffit de remplacer les amplificateurs usuels par des amplificateurs bi-directionnels. De plus il faut aussi séparer les signaux à l'aide de filtres passe-bas et passe-haut. (voir Figure 3).

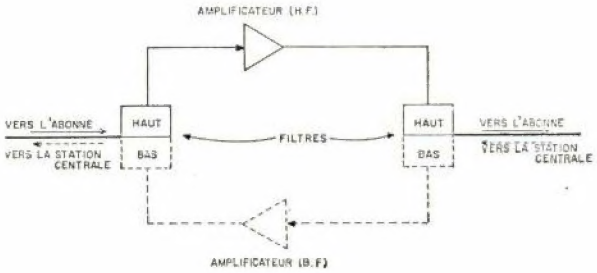


FIG. 3

Comme la fréquence de coupure de ces filtres n'est jamais aussi abrupte qu'on pourrait le souhaiter, la bande de fréquences utilisables pour des transmissions vers la station centrale est limitée en générale à 25 MHz (de 5 à 30 MHz) ce qui correspond à canaux de télévision. Parce que cette technique de division de fréquences, malgré le fait qu'elle soit moins coûtuse que celle de la duplication des câbles, présente des inconvénients d'ordre technique, plusieurs compagnies de télédistribution envisagent installer des réseaux à double câble.

6 — RESEAUX EXPERIMENTAUX

Quelle que soit la méthode envisagée pour permettre aux abonnées d'un réseau de communiquer avec la station centrale, peu d'informations sont disponibles à l'heure actuelle sur des réseaux ayant dépassé le stade expérimental. Les réseaux expérimentaux suivants représentent l'état d'avancement actuel de la technologie des systèmes à voie de retour (voir Tableau III).

TABLEAU III

RESEAUX EXPERIMENTAUX A VOIE DE RETOUR

Emplacement	Manufacturier
El Segundo, Californie	Theta-Com
Irving, Texas	Tocom
Overland Park, Kansas	Vicom Industries, Inc.
Reston, Virginia	Mitre Corporation
Mitsukoshi, Tokio	Matsushita Electrical Industries

6.1 Système Theta-Com

Ce système, installé au début de l'année 1972 à El Segundo, est connu sous le nom de Subscriber Response System. Deux types de signaux sont envoyés de la

station centrale aux abonnées: des signaux vidéo (26) que l'abonné peut capter comme sur n'importe quel autre réseau de télédistribution et des signaux numériques à un taux de 1 Mb/s. Sur la voie de retour, les signaux numériques sont aussi transmis à la vitesse de 1 Mb/s. Du centre traitement de données de la station centrale, des signaux d'interrogation sont envoyés à tous les abonnés périodiquement. Lorsque le terminal chez l'abonné n'est pas utilisé, sa réponse au signal d'interrogation consiste en un message qui à la fois contient son identification et un rapport de l'état de ses circuits. Si le terminal chez l'abonné est actif, la réponse au signal d'interrogation consiste en un message indiquant l'intention d'accèder à un certain service. Les terminaux sont servis lorsque 1000 abonnés ont été interrogés. Ce processus est répété à raison de 1000 abonnés à la fois, pour un total de 65,000 abonnés.

6.2 Système Tocom

Il s'agit d'un réseau de télédistribution à large bande sous contrôle d'un ordinateur formé de deux sous-systèmes: le centre de traitement de données et les terminaux éloignés. Le premier contrôle tout le système, supervise et interprète tout échange d'information. Le deuxième décode les informations envoyées par le centre de traitement tout en exécutant les commandes reçues. Ces deux sous-sistèmes sont reliés entre eux par un réseau de télédistribution à voie de retour. En plus d'offrir 26 canaux vidéo, le système Tocom incorpore des services tels que:

— télévision payante;
— télésurveillance;
— télélecture de compteurs (électricité, eau);
— enquêtes d'opinion publique.

Les seuls réponses permises aux abonnés suite à des questions posées par l'ordinateur centrale sont: oui, non ou sans opinion.

6.3 Système Vicom

Sans doute, le plus complet des systèmes interactifs utilisant un réseau de télédistribution à voie de retour, le système Vicom est le seul à permettre à la fois un contrôle de l'utilisation des canaux, la transmission de donées et l'interaction directe avec l'auditoire qui peut répondre soit oralement soit par le truchement d'un clavier. Lorsque un programme particulier tel qu'une conférence doit être acheminé vers un auditoire restreint, seulement ceux qui sont autorisés à le faire (sous contrôle de l'ordinateur central) peuvent participer. Le déroulement d'une téléconférence dans ce système se fait sans problèmes car les microphones des participants peuvent être conntrôlés par un animateur. Une portion de la capacité totale des voies de retour peut être utilisée pour émettre un signal vidéo de n'importe quel point du réseau. Les aplications possibles de cette caractéristique unique du réseau sont bien évidentes. Deux bandes de fréquences sont réservées à la transmission de signaux numériques. Un total de 25 canaux vidéo et un canal numérique sont utilisés pour des communications vers les abonnées. Ceux-ci peuvent communiquer avec la station centrale par la voie de 3 canaux vidéo, 3 canaux audio et un canal numérique.

6.4 Système TICCIT

Vers la fin de 1971 la Mitre Corporation, en collaboration avec la compagnie de télédistribution de Reston en Virginie, mettait à l'essai le système TICCIT time-shared, interactive, computer controlled, information television). Ce système se distingue de ceux précédement mentionnés par deux aspects:

— il permet de *figer* sur écran de visualisation toute image reçue;

— il est utilisé à des fins expérimentales et de démonstration.

Dans les systèmes de télévision conventionnels chaque image est transmise 30 fois par seconde se que donne l'illusion du mouvement. Etant donné que l'infomation dont l'usager a besoin est contenue dans une seule image, il est possible de partager un canal de télévision (6 MHz) entre plusieurs centaines d'abonnés. Pour ce faire, il faut un appareil capable de capter l'image demandée par l'abonné et de l'enregistrer sur un ruban magnétoscopique. Cette image est par la suite retransmise au récepteur de télévision 30 fois par seconde. Chaque image transmise de l'ordinateur central vers l'abonné est précédée de l'adresse de ce dernier qui est reconnue par le capteur d'images placé chez l'abonné comme étant la sienne. Normalement le temps nécessaire pour lire une image est de l'ordre de 10 secondes ce qui laisse du temps libre à l'ordinateur pour servir d'autres abonnés. Lorsqu'un abonné veut avoir accès au système il contacte le centre de calcul du réseau d'où il reçoit un signal d'acception d'appel. En même temps sur l'écran de visualisation une liste de services offerts est affichée. L'abonné à l'aide d'un téléphone à clavier choisit le service voulu et le dialogue se poursuit. Parmi les services offerts on trouve des programmes éducatifs et des services d'informations communautaires. Ce réseau offre aussi pulsieurs canaux vidéo et 14 émissions de radio en modulation de fréquence.

6.5 Système Matsushita

Ce système démontré pour la première fois vers la fin de 1972 à Tokyo, possède une capacité maximale de 20 canaux vidéo. Un ordinateur situé à la station centrale contrôle le flot de messages transmis à une vitesse de 100 kb/s sous forme de signaux numériques. Chaque terminal de ce réseaux et identifié par une adresse ce qui permet la diffusion d'images fixes qui sont captées

seulement par ceux qui en ont fait la demande. Chez l'abonné on trouve:

— un récepteur TV auquel est associé un clavier utilisé pour les communications avec la station centrale;
— une mémoire responsable de la rétention d'images;
— des appareils électroniques utilisés pour le relevé automatique de compteurs (eau, gaz, électricité) et la télésurveillance (sécurité, vol, incendie).

Au delà de la réception de canaux de télévision, les services auxquels les abonnés peuvent avoir accès comprennent entre autres une série d'émissions sur la cuisine orientale (films) et un programme de diapositives à caractère touristique.

7 — CLASSIFICATION DES SERVICES

Il convient maitenant, compte tenu de l'exposé fait précédemment sur les caractérisques techniques des réseaux de télédistribution, de définir les types de services que ces réseaux vont être appelés à offrir et de les classifier. En règle générale, les reseaux de télédistribution peuvent assurer trois fonctions principales:

— la distribution de services à sens unique;
— la communication dans les réseaux à voie de retour;
— le traitement de données.

Cette classification des fonctions d'un réseau de télédistribution va nous permettre de procéder à une catégorisation des services offerts aux abonnés.

7.1 Services de Distribution

Parmi les services de distribution on distingue:

— des services d'intéret général qui s'adressent à l'ensemble des abonnés. Les programmes, qu'ils proveniennent de stations de télévision commercialles ou éducatives ou qu'ils soient conçus localement, visent essentiellement à informer, distraire, ou éduquer;
— des services spécialisés qui s'adressent à certaines catégories socio-professionnelles. Ils sont soumis à une diffusion sélective, et visent à informer, éduquer ou à distraire dans le cas de la télévision payante.

L'équipement de l'abonné, fonction des services requis, peut compendre:

— une imprimante qui permet la réception de textes imprimés (facsimilés);
— un magnétoscope avec lequel l'abonné peut enregistrer les programmes reçus;
— un recépteur de télévision équipé d'un sélecteur de canaux.

7.2 Services de Communication

La communication est possible sur réseau de télédistribution lorsque une voie de retour existe même si elle est de capacité limitée. Grâce à l'evolution des techniques numériques des messages dûment identifiés peuvent voyager das les deux sens d'un réseau donnant naissance à diférent services:

a) des services de réponses qui peuvent être soit automatiques lorsques les capteurs installés chez l'abonné transmettent à la station centralle les relevés des compteurs de gaz ou eléctricité ou l'état des circuits de protection et surveillance (vol, incendie), soit exiger l'intervention personnele de l'abonné au moyen d'un clavier à touches ou de tout autre terminal. L'abonné peut ainsi répondre par oui, non ou sans opinion, et par exemple voter ou se livrer à un nombre restreint d'activités administratives ou commerciales;
b) des services de consultations lorsque l'abonné a accès à une banque de données par l'intermédaire d'un catalogue. Il peut ainsi consulter la liste de médécins de son quartier ou la liste des spectacles qui y sont offerts. Lorsqu'il le veut, l'abonné a la possibilité d'enregistrer les réponses fournies par la banque de données à l'aide d'un appareil du type magnétoscope;
c) des services de dialogues lorsque l'abonné est relié à une bibliothèque ou vidéothèque. Il peut ainsi avoir accès à une page d'un livre ou d'un journal ou même choisir un programme éducatif. D'une façon limitée, étant donné l'état actuel de la technologie des réseaux de télédistribution, un abonné peut s'adresser à un autre abonné ou groupe d'abonnés, à l'aide de caméras, micros ou pupitres à clavier.

7.3 Services de traitement de données

Lorsqu'on ajoute les avantages d'un réseau de télédistribution à large bande à ceux d'un centre de traitement de l'information, l'éventail des services possibles devient presque illimité. L'abonné peut maintenant non seulement consulter et répondre mais aussi dialoguer plus efficacement que précédemment. L'enseignement assisté par ordinateur devient possible sans que l'abonné soit obligé de quitter son domicile. Il peut aussi calculer le budget familial ou se servir de programmes qu'il a lui même conçu.

8 — CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES D'AVENIR

La télévision pénètre de plus en plus profondément dans les foyers par le biais du ***câble*** et il est sûr que des intérêts économiques contribueront à une prolifération des réseaux de télédistribution. Alors qu'avec la télévision conventionnelle le téléspectateur paye non pour ce qu'il souhaiterait voir mais plutôt pour ce que la majorité de l'auditoire a envie de voir, la télédistribution offre un palliatif à cet état de choses, dans la mesure